

PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION
NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE

5 La présente invention, due à la collaboration de Jean-Paul DOMEN et de Stéphane VIANNAY, concerne des perfectionnements à une invention antérieure du premier nommé, afférente à des procédés et appareils de distillation, décrits dans une demande de brevet international PCT, déposée par le demandeur et publiée le 20 décembre 2001 sous le N° WO 01/96244 A1. Cette demande PCT décrit un procédé général de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, ainsi que deux
10 procédés et alambics particuliers .

Ces procédés et appareils de distillation sont principalement destinés à produire de l'eau douce, aisément transformable en eau potable. Ils font appel à des sources chaudes à basse température, de types divers (chaudière usuelle, chaudière solaire ou radiateur de moteur thermique) et ils traitent la plupart des eaux non potables, telles que les eaux de mer, les eaux souterraines saumâtres ou les eaux de surface
15 claires mais polluées. A cette application principale, s'ajoutent celles concernant la production de concentrés dans diverses industries, notamment alimentaires ou chimiques .

Selon le procédé général de distillation, objet de cette invention antérieure, .

- des échanges thermiques à contre-courant sont effectués par un fluide caloporteur unique, liquide ou gazeux, circulant en circuit fermé le long de surfaces, respectivement chaudes S_c et froides S_r , liées par une
20 conductance thermique importante;
- lesdites surfaces S_c et S_r sont des faces de parois de plaques creuses minces d'échange thermique de distillation, installées en grand nombre, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, comportant des espaces inter-plaques étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air à pression atmosphérique ;
- 25 - le fluide caloporteur circule de haut en bas le long des surfaces S_c , en passant d'une température initiale élevée T_1 à une température finale T_3 inférieure à T_1 , puis de bas en haut le long des surfaces S_r , en passant d'une température initiale T_4 , inférieure à T_3 , à une température finale T_2 , supérieure à T_4 et inférieure à T_1 ;
- en haut des faces externes des parois des plaques creuses, à l'intérieur desquelles le fluide caloporteur circule de haut en bas, du liquide à distiller est répandu qui s'étale et descend lentement en couches fines le
30 long de ces faces externes ;
- sous l'action du courant de fluide caloporteur circulant de haut en bas le long des surfaces S_c , une partie du liquide à distiller répandu sur lesdites faces externes s'évapore, cependant que ce courant se refroidit, passant de T_1 à T_3 , et que la vapeur produite diffuse dans le gaz incondensable présent dans les espaces inter-plaques ;
- 35 - sous l'action du courant de fluide caloporteur circulant de bas en haut le long des surfaces S_r , la vapeur diffusée dans le gaz incondensable se condense, cependant que ce courant se réchauffe, passant de T_4 à T_2 , sous l'effet d'une récupération d'une partie importante de la chaleur latente de condensation de la vapeur diffusée ;
- une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces S_c et S_r , pour augmenter
40 la température du fluide caloporteur de T_2 à T_1 ;
- une source froide est disposée entre les extrémités les moins chaudes de ces surfaces S_c et S_r , pour abaisser la température du fluide caloporteur de T_3 à T_4 .

Selon un premier procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, dérivé de ce procédé général :

- le fluide caloporteur est le liquide à distiller ;
- les plaques creuses minces d'échange thermique de distillation sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée, leurs parois respectives constituant lesdites
- 5 surfaces S_c et S_r ;
- du liquide à distiller est répandu en haut des faces externes des parois des seules plaques chaudes ;
- le liquide caloporteur circule de haut en bas à l'intérieur des plaques chaudes, il y entre chaud à la température T_1 et il en sort refroidi à la température T_3 , après avoir provoqué une évaporation partielle du liquide à distiller en écoulement sur les faces externes de ces plaques ;
- 10 - à la sortie des plaques chaudes, le liquide caloporteur subit un refroidissement complémentaire et passe à la température T_4 ;
- ensuite, ce liquide caloporteur à la température T_4 entre à l'intérieur des plaques froides où il circule de bas en haut, d'une part, en provoquant, sur les faces externes des parois de ces plaques froides, une condensation de la vapeur diffusée à travers la lame de gaz incondensable de l'espace inter-plaques et, d'autre part, en
- 15 récupérant une partie de la chaleur de condensation de cette vapeur pour se réchauffer et finalement il sort des plaques froides à la température T_2 ;
- au cours de ces opérations, les flux de chaleur traversent les parois des plaques chaudes et froides ainsi que les lames immobiles de gaz incondensable qui les séparent ;
- le liquide distillé descend le long des faces externes des parois des plaques froides cependant que le liquide
- 20 concentré descend le long des faces externes des parois des plaques chaudes .

Selon un second procédé particulier de distillation dérivé de ce procédé général :

- le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;
- du liquide à distiller est répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses d'échange thermique de distillation, ces faces externes constituent lesdites surfaces froides S_r cependant que
- 25 les faces internes des parois de ces plaques constituent lesdites surfaces chaudes S_c ;
- le courant de gaz à température T_1 entre à l'intérieur de toutes les plaques creuses où il circule de haut en bas, cependant qu'une partie de sa vapeur se condense sur les faces internes des parois des plaques, que des flux de chaleur, dus à une récupération partielle de la chaleur de condensation, traversent les parois des plaques pour évaporer une partie du liquide en écoulement sur leurs faces externes et que, de ce fait, ce
- 30 courant de gaz se refroidit et sort des plaques creuses à la température T_3 ;
- à la sortie de ces plaques creuses, le courant de gaz à température T_3 subit un refroidissement complémentaire et passe à la température T_4 ;
- ensuite, ce courant de gaz à température T_4 entre dans les espaces inter-plaques où il circule de bas en haut, en emportant la vapeur produite dans ces espaces et en se réchauffant, et finalement il sort de ces
- 35 espaces à la température T_2 ;
- le liquide distillé descend le long des faces internes des parois des plaques creuses cependant que le liquide concentré descend le long de leurs faces externes .

- Pour la mise en œuvre de ces procédés de distillation, des éléments creux et minces d'échange thermique, en polymère (notamment en polypropylène), sont décrits dans cette demande PCT. Ces éléments
- 40 sont des plaques rectangulaires creuses minces, de grandes dimensions (de 50 à 150 dm² généralement), à paroi pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable, soudé et/ou collé. Ils sont de deux types principaux :
- (1) panneaux souples, à parois ondulées très fines (0,15 mm d'épaisseur), formant des conduits étroits (15

mm), séparés par des lignes de soudure parallèles, et (2) panneaux alvéolaires rigides, à parois planes fines (0,3 mm d'épaisseur). Ces deux types de plaques creuses minces sont portés par une tringle plate, en appui sur des montants verticaux .

Ces procédés de distillation, référencés ci-après par les initiales JPD de leur auteur, se distinguent nettement de celui mis en œuvre dans l'alambic solaire, décrit dans le brevet européen N° EP 1 312 404 A1, publié le 21 mai 2003 et référencé ci-après par les initiales AVP de son inventeur. Cet alambic solaire AVP comprend, dans une chambre de traitement, un évaporateur et un condenseur verticalement disposés, et à l'extérieur, une chaudière solaire, un radiateur et une pompe. La paroi externe de l'évaporateur est constamment humidifiée par de l'eau de mer répandue sur son bord supérieur. Sous l'action de la pompe, un liquide caloporteur circule en circuit fermé de bas en haut de la chaudière, de haut en bas de l'évaporateur, de bas en haut du radiateur et de bas en haut du condenseur, pour finalement aboutir en bas de la chaudière. Le radiateur est un organe de refroidissement du liquide caloporteur, soumis à l'action d'un courant d'air. L'eau de mer répandue sur l'évaporateur, chauffé par le liquide caloporteur qui sort de la chaudière, s'évapore en partie et, de ce fait, l'air qui l'entoure se réchauffe et se sature. Par convection naturelle, cet air chaud saturé monte le long des parois de l'évaporateur, se met à circuler en circuit fermé dans la chambre de traitement et, au cours de son trajet, traverse de haut en bas la zone occupée par le condenseur. Le liquide caloporteur, qui s'est refroidi en traversant l'évaporateur, subit un refroidissement complémentaire en traversant le radiateur. En conséquence, il arrive en bas du condenseur à une température inférieure à celle qu'il avait en sortant de l'évaporateur. La structure particulière donnée au condenseur (voir fig. 3) a pour conséquence de faire circuler en circuits croisés le courant d'air chaud saturé et le courant de liquide caloporteur refroidi. La vapeur contenue dans l'air se condense sur les parois relativement froides du condenseur et la chaleur latente de condensation est récupérée par le liquide caloporteur, diminuant ainsi l'énergie thermique demandée à la chaudière solaire. L'eau distillée et la saumure sont récupérées dans des bacs respectivement installés sous le condenseur et sous l'évaporateur.

Si l'on compare les procédés de distillation JPD et AVP, décrits ci-dessus, on constate que, malgré des concepts communs, déjà énoncés dans un autre document JPD, la publication WO 98/16474 A1, citée comme art antérieur dans la demande PCT visée ci-dessus, des différences fondamentales apparaissent qui les distinguent nettement l'un de l'autre. Dans le procédé JPD, un fluide caloporteur unique, liquide ou gazeux, est utilisé et, dans le procédé AVP, deux fluides respectivement liquide et gazeux le sont simultanément. En outre, dans le procédé JPD, l'évaporateur et le condenseur sont des plaques creuses minces, à parois fines, juxtaposées avec des espaces inter-plaques étroits remplis d'air, afin de constituer des surfaces d'échange thermique, liées ensemble par une conductance thermique importante. Dans le procédé AVP, les organes évaporateur et condenseur ont tous deux des formes complexes et, en outre, sont différents et relativement éloignés l'un de l'autre. Ce qui ne permet guère d'établir entre eux une conductance thermique importante. Lorsque, dans le procédé JPD, le fluide caloporteur est un liquide, les plaques creuses minces sont alternativement chaudes et froides et les courants chauds et froids concernés circulent à très faible distance l'un de l'autre et en sens contraires (et non pas en sens croisés), cependant que la mince lame d'air qui sépare ces plaques demeure immobile. Ce qui permet d'avoir les échanges thermiques particulièrement efficaces qui sont à l'origine de la haute productivité de distillation recherchée. Lorsque dans le procédé JPD, le fluide caloporteur est l'air chaud saturé, les faces internes et externes des fines parois des plaques creuses minces constituent des surfaces d'échange thermique, liées par une conductance thermique maximale. Ce qui, à l'évidence, ne peut se retrouver dans le procédé AVP. En outre, le procédé JPD peut faire l'objet d'une modé-

lisation mathématique, réellement représentative des phénomènes concernés, qui seule permet de comprendre et donc d'optimiser ces phénomènes, puisque les éléments à prendre en compte ont une géométrie simple et des dispositions dans l'espace bien définies. Ce qui ne semble guère être possible avec les éléments de l'alambic solaire AVP, qui ont des géométries complexes et des liaisons thermiques à conductance faible et mal définie.

Dans la publication WO 01/96244 A1 visée ci-dessus, il est écrit page 21, lignes 2 à 7 : « La maximisation du coefficient de performance d'un appareil de distillation dont les paramètres sont fixes (...), impose que la différence de températures entre les débits d'eau chaude et moins chaude sortant de la chaudière et y entrant, soit aussi faible que possible, cependant que la différence de températures entre le haut et le bas des éléments d'échange thermique doit, au contraire, être aussi élevée que possible. »

Une telle affirmation est juste dans certains cas, mais comme on le verra plus loin, sa généralisation conduit à des conclusions simplistes et incomplètes dans certains cas et même fausses dans d'autres cas. A titre d'exemple, on notera dès à présent que le Coefficient de Performance COP d'un appareil d'échange thermique ou de distillation, c'est-à-dire le rapport entre la puissance thermique échangée Q et la puissance P , fournie par la chaudière, détermine également le prix de revient de l'énergie échangée et/ou de l'eau distillée, par l'intermédiaire de deux autres paramètres, à savoir, (1) le coût de l'énergie utilisée, lequel est inversement proportionnel au coefficient de performance COP , et (2) l'amortissement du prix de l'appareil qui, lui, est proportionnel au COP , comme cela sera démontré ci-après.

Dans un échangeur thermique à contre-courant classique, entre deux fluides à capacité calorifique C_p constante, on désignera ci-après par T_1 , la température du fluide caloporteur, à la sortie de la chaudière ou à l'entrée des surfaces chaudes de l'échangeur, par T_2 , la température du fluide à la sortie des surfaces froides, par T_3 , la température du fluide caloporteur, à la sortie des surfaces chaudes, et par T_4 , la température du fluide, à l'entrée des surfaces froides de l'échangeur. Et on désignera par dT , la différence de température qui existe de part et d'autre des surfaces chaudes et froides concernées. Si l'on néglige les pertes thermiques de l'échangeur, les deux écarts de températures $(T_3 - T_4)$ et $(T_1 - T_2)$ sont en général tous deux égaux à dT .

On notera que de tels échangeurs thermiques ne peuvent fonctionner que dans une plage de températures imposées par la tenue au chaud et au froid des matériaux utilisés et par les diverses températures de changement d'état des fluides concernés. En conséquence, il existe une valeur maximale imposée pour l'écart $(T_1 - T_3)$. Et c'est pour cette valeur maximale que la puissance échangée Q prendra également sa valeur maximale.

La puissance échangée Q s'exprime de deux manières, suivant que l'on considère le fluide caloporteur ou l'échangeur thermique. Dans le premier cas, cela donne $Q = C_p \cdot D \cdot (T_1 - T_3)$, avec C_p , la capacité calorifique à pression constante du fluide caloporteur, (dans le cas de l'eau, $C_p = 4,19$ joules, par gramme et par degré), et D , le débit massique circulant. Dans le second cas, on a la relation $Q = k \cdot V \cdot dT$, avec k , la conductance thermique volumique d'un échangeur thermique et V , le volume actif de cet échangeur. La conductance thermique volumique k d'un échangeur thermique se définit comme étant la puissance thermique en Watts, transmise à travers un échangeur d'un mètre cube de volume actif, en réponse à un écart de température d'un Kelvin. La dimension du terme k est donc $W/m^3 \cdot K$.

Dans le cas d'un échangeur thermique à contre-courant classique, on sait que le coefficient de performance $COP = (T_1 - T_3)/dT$. Dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur, à contre-courant d'eau, le liquide caloporteur circule en circuit fermé, ce liquide entre dans la chaudière à une température T_2 et en sort

à T_1 , de sorte que la puissance fournie par la chaudière est $P = C_p \cdot D \cdot dT$. Quant au coefficient de performance brut de l'échangeur à contre-courant, constitué par cet alambic, c'est-à-dire au rapport Q/P , sa valeur est également $COP = (T_1 - T_3)/dT$.

Si maintenant on s'intéresse au produit de COP par Q , la puissance thermique échangée, on constate
 5 que la valeur de la quantité $COP \cdot Q$ caractérise les performances pratiques d'un échangeur thermique, lequel est d'autant plus performant que cette quantité est plus forte. Si, en outre, on divise cette même quantité par le volume actif V de l'échangeur, on peut alors comparer deux échangeurs thermiques de volumes différents et définir leur Critère Intrinsèque d'Efficacité, lequel est défini par le terme $CIE = COP \cdot Q/V = Q^2/P \cdot V = k \cdot (T_1 - T_3)$. Pour un échangeur thermique à contre-courant classique, la conductance thermique volumique k de l'échan-
 10 geur et la capacité calorifique C_p des liquides concernés ont des valeurs constantes, indépendantes de la température T et de l'écart dT . En conséquence, le terme CIE passe par un maximum lorsque COP et Q sont elles-mêmes maximales, c'est-à-dire pour les valeurs extrêmes, haute et basse respectivement, imposées à T_1 et à T_3 , conformément à l'affirmation rappelée plus haut. Mais cela n'est pas du tout le cas pour les échanges thermiques de distillation que comportent les alambics à diffusion de vapeur.

15 En effet, dans les échangeurs thermiques de distillation à diffusion de vapeur, que sont les alambics selon l'invention antérieure, la conductance thermique volumique de l'échangeur varie considérablement dans la plage théorique de température que l'appareil pourrait explorer, soit depuis 20 à 30°C, une plage des limites basses possibles de la source froide, constituée par le liquide froid à distiller entrant dans l'alambic, jusqu'à
 20 une valeur au plus égale à la température d'ébullition de ce même liquide. Cela provient du caractère quasi-exponentiel de la pression partielle de vapeur, exprimée en fonction de la température. En conséquence, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, le Critère Intrinsèque d'Efficacité de cet alambic CIE , ne présente pas son maximum pour la limite basse possible de T_3 .

Pour pouvoir apporter un premier perfectionnement aux procédés de distillation visés plus haut, afin de déterminer puis d'obtenir la valeur optimale de la température T_3 , à la sortie de plaques rectangulaires creuses
 25 d'échange thermique, souples (alvéole en lunule, paroi ondulée) ou rigides (alvéole rectangulaire, paroi plane), décrites dans la demande PCT visée plus haut, il est au préalable nécessaire d'établir la théorie quantitative des alambics à diffusion de vapeur. Cela, afin d'élaborer les lois physiques fondamentales qui les régissent. Pour ce faire, on va tout d'abord procéder à une analyse logique systématique du fonctionnement d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau.

30 A cet effet, on va, pour un tel alambic utilisant de l'eau de mer comme fluide caloporteur, définir les deux types de paramètres concernés, à savoir, ceux de construction (figés à la sortie d'usine) et ceux d'utilisation, qui en déterminent le fonctionnement.

Les paramètres de construction sont les suivants :

- (e), l'épaisseur moyenne interne des plaques creuses et de l'eau dans ces plaques,
- 35 - (a), l'épaisseur moyenne de la lame d'air entre les plaques,
- (2p), le pas des plaques de même nature, chaude ou froide,
- (h), la hauteur des plaques,
- (N) le nombre et (l), la largeur des plaques,
- (V), le volume actif de l'échangeur avec $V = p \cdot N \cdot l \cdot h$,
- 40 - l'épaisseur, la conductivité thermique et la forme (plane ou ondulée) des parois des plaques creuses.

Les paramètres d'utilisation sont à la disposition de l'utilisateur et ce sont les suivants :

- (D), le débit et (v), la vitesse de l'eau dans les plaques creuses,

- (t), le temps de transit de l'eau dans ces plaques, avec $t = h/v$ et $D = V.e/2p.t$,
 - (dT), l'écart de température entre les fluides circulant dans les plaques chaudes et froides,
 - (P), la puissance thermique de la chaudière,
 - (Q), la puissance thermique échangée par distillation, exprimée en m³/jour d'eau distillée, chaque unité
- 5 correspondant à environ 27 kW ;
- la plage de température d'utilisation des plaques creuses chaudes, avec T₁ en entrée et T₃ en sortie.

Compte-tenu des deux expressions visées plus haut, qui définissent la puissance thermique échangée entre les surfaces chaudes et froides concernées, à savoir celle $Q = C_p.(T_1 - T_3).D$, fournie par le fluide caloporteur et $Q = k.V.dT$, transmise par l'échangeur, on en déduit la relation suivante : $t.dT = C_p.(T_1 - T_3).e/k$.

10 Ce qui veut dire que ce terme $t.dT$ prend une valeur déterminée dès lors que T₁, T₃ et k sont eux-mêmes déterminés. Il en résulte que l'épaisseur d'eau e et celle d'air a étant fixées par le constructeur, les valeurs à la disposition de l'utilisateur, à savoir, le temps de transit (t) et la différence de températures dT varient en sens inverses, dès lors que leur produit a une valeur déterminée choisie. En conséquence, le terme $t.dT$ apparaît

15 comme étant une variable composite, fonction à la fois de certains paramètres de construction, des températures extrêmes T₁ et T₃ et de toutes les valeurs T intermédiaires. Il faut donc considérer $t.dT$ comme la variable indépendante déterminante, à prendre en compte pour calculer la température du fluide caloporteur au cours de sa descente tout au long des surfaces chaudes d'échange thermique.

A partir de ces relations physiques fondamentales qui régissent le fonctionnement des alambics à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon ladite invention antérieure, il devient possible d'optimiser ce

20 fonctionnement. Pour ce faire, on élabore un logiciel permettant de modéliser les transferts de masse et de chaleur qui se produisent tout au long des plaques creuses de ces alambics. Dans le premier cas étudié, le liquide caloporteur circule de haut en bas dans les plaques chaudes et l'interface entre les liquides caloporteurs montant et descendant est alors la face extérieure des parois des plaques froides de condensation. Les plaques sont en polymère (polypropylène notamment) et leur conductivité thermique est de 0,2 W/m.K. Le

25 calcul concerne les températures qui apparaissent de haut en bas des surfaces chaudes de ces plaques, en fonction de tous les paramètres concernés, à savoir la température T₁, les paramètres de construction et d'utilisation et les conductances thermiques visées plus haut. Ce calcul se fait pas à pas pour élaborer les courbes des températures des tranches de fluide caloporteur, en fonction de leur hauteur h, mesurée de haut en bas des plaques creuses chaudes, c'est-à-dire des courbes $T = f(h)$ correspondant à la valeur maximale

30 naturelle de T₁ et une valeur minimale naturelle possible (sans refroidissement artificiel) de T₃ pour différentes valeurs choisies des paramètres de construction e et a.

Avec de l'eau de mer comme fluide caloporteur, à capacité calorifique C_p constante, on va maintenant, à l'aide du logiciel concerné, calculer tranche par tranche, tout au long des surfaces chaudes, la courbe de la température $T = f(h)$ et celle de $C_{ie} = g(h)$, pour des plaques alvéolaires rigides à faces planes, ayant une

35 épaisseur totale de paroi et de revêtement de 0,5 mm, une épaisseur interne e = 3 mm et un pas p = 8,5 mm. Ces trois dimensions sont les valeurs minimales qu'il a été possible de donner aux prototypes expérimentés., pour être assuré que les plaques chaudes et froides ne puissent jamais se toucher.

La courbe A₁ représentée sur la figure 1 ci-après $T = f(h)$ a été calculée pour des plaques chaudes planes, avec T₁ proche de 100°C, une hauteur de plaques h = 100 cm, un pas de plaques p = 8,5 mm, avec

40 une épaisseur interne d'eau e = 3 mm, une épaisseur de lame d'air a = 5 mm et une épaisseur totale de parois et de revêtements hydrophiles de 0,5 mm, une vitesse de circulation d'eau v = 0,5 mm/s et un écart de température dT = 5,5 K. En parallèle sur l'axe des h, a été porté l'axe de la variable composite $t.dT = dT.h/v$.

Pour la valeur $T = 32^{\circ}\text{C}$, qui correspond à une hauteur $h = 100\text{ cm}$, le temps de transit $t = 2.000\text{ s}$ et la variable composite $t.dT = 11.000\text{ K.s}$. Pour toute valeur intermédiaire de T entre 32 et 100°C , la valeur correspondante de $t.dT$ se déduit immédiatement.

Sur cette même figure 1 est également portée la courbe B_1 qui représente la variation du Critère Intrinsic d'Efficacité de distillation de l'alambic $C_{IE} = C_{OP}.Q/V = Q^2/P.V$, en fonction de la variable composite $t.dT$ (déduite de h), laquelle est liée à V , le volume actif, par la relation précisée plus haut $V = p.N.I.h$. Ce critère C_{IE} est représentatif du produit du C_{OP} par Q/V , le volume en mètres cubes d'eau distillée par jour et par mètre cube de volume actif d'alambic. Dans le cas présent, la plage des variations possibles de ce critère s'établit de 0 à 18. La courbe B_1 présente un maximum $C_{IE} = 17,8$ pour $t.dT = 3000\text{ K.s}$, et donne $T_3 = 68,5^{\circ}\text{C}$ lorsque $T_1 = 100^{\circ}\text{C}$. Selon la figure 1, les plages de valeurs optimales de $t.dT$ et de T_3 sont définies par la courbe A_1 et celle du C_{IE} , par son maximum ($C_{IE} > 17$), soit $1900 < t.dT < 4450\text{ K.s}$ et $58 < T_3 < 78^{\circ}\text{C}$. Ces plages de valeurs optimales varient peu lorsque le rapport e/p demeure constant, le maximum de C_{IE} étant quant à lui d'autant plus élevé que les paramètres e et p ont leurs valeurs minimales. En conséquence, pour tout $C_{IE} > 17$ et toute valeur particulière de la variable composite $t.dT$, située dans la plage optimale qui en découle, le fonctionnement d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur sera optimisé dès lors que l'un des paramètres t ou dT a été choisi et T_3 , déduit de ce choix.

Comme $C_{OP} = Q/P$, ce terme est aussi inversement proportionnel au coût de l'énergie utilisée. Quant au rapport Q/V , il est inversement proportionnel au volume actif V et donc au nombre de plaques installées pour obtenir une production journalière déterminée Q . Comme on peut également écrire $Q/V = C_{IE}/C_{OP}$, lorsque le prix de l'énergie sur le lieu d'exploitation est élevé (énergies fossiles ou électricité), on choisira une valeur élevée pour C_{OP} . Et, dans le cas où cette énergie est bon marché (solaire ou co-génération à partir du liquide de refroidissement ou des gaz d'échappement des moteurs thermiques), on choisira un C_{OP} plus faible et donc un investissement limité (moins de plaques d'échange thermique). On notera que ces variations en sens inverses permettent d'obtenir un maximum d'efficacité lorsque le prix de l'énergie est égal à l'amortissement de l'investissement rapporté au volume total d'eau distillée, produite sur la durée de cet amortissement.

Lorsque des plaques souples à parois ondulées, composées de conduits parallèles, à section en forme de lunules, sont utilisées, les deux courbes A_1 et B_1 de la figure 1 sont un peu différentes : la courbe A_1 qui représente $T = f(h)$, a sensiblement la même forme mais la courbe B_1 , $C_{IE} = f(t.dT)$, présente un maximum nettement moins accusé d'une valeur de 9 environ au lieu de 18. Des résultats comparables sont obtenus pour les deux types de plaques creuses (rigides et planes ou souples et ondulées), lorsque la température T_1 est notablement inférieure à la température optimale indiquée plus haut (100°C), soit 85°C par exemple.

Dans un second cas étudié, on a inversé le sens de circulation du liquide caloporteur pris en compte dans le calcul précédent (de bas en haut au lieu de haut en bas, dans les plaques chaudes) tout en conservant inchangées les plaques creuses chaudes et froides considérées. Les résultats obtenus dans ce second cas ne sont guère différents de ceux obtenus dans le premier.

On notera que dans le cas des alambics à contre-courant d'eau, mettant en œuvre ces deux procédés de distillation selon l'invention, l'interface, à travers lequel s'effectuent les transferts de chaleur entre les deux courants d'eau qui circulent en sens inverses, est situé dans la paroi qui sépare le courant d'eau montant du liquide ruisselant, lequel est l'eau distillée dans le premier cas étudié (circulation de haut en bas du liquide caloporteur dans les plaques chaudes) et la saumure dans le second cas (circulation en sens inverse).

On va maintenant s'intéresser au procédé de distillation à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur (air), saturé en vapeur. Les paramètres de construction et d'utilisation, visés plus haut pour un procédé de distilla-

tion à contre-courant d'eau, sont repris dans le cas présent. En revanche, la capacité calorifique apparente C_p de l'air saturé en vapeur augmentant énormément en fonction de la température, l'écart de température entre les faces interne et externe des plaques doit varier en sens inverse. Dans ces conditions, s'il est simple, pour un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, d'exprimer l'écart de puissance thermique appliquée entre les surfaces d'échange thermique, en fonction de dT seulement, puisque C_p est alors constant, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air, il devient nécessaire de revenir à la puissance thermique appliquée entre les faces internes et externes des plaques creuses de distillation.

Selon l'invention, cet écart de puissance thermique s'exprime par l'écart local de flux d'enthalpie (en Watts) entre les écoulements d'air saturé le long des faces externes chaudes S_e et internes froides S_i de ces plaques creuses. Ces flux d'enthalpie sont définis, à deux niveaux en regard des faces d'une paroi de plaque, par $H_e = D.C_{pe}.T_e$, pour la face S_e , et par $H_i = D.C_{pi}.T_i$, pour la face S_i . Un écart local de flux d'enthalpie est défini par $dH = D.(C_{pe}.T_e - C_{pi}.T_i)$. Dans ces expressions, C_{pe} et C_{pi} sont les capacités calorifiques apparentes des écoulements à températures T_e et T_i , existant à deux niveaux en regard. Le terme $C_p = \delta H / D.\delta T$, avec d'une part, δH et δT , des variations élémentaires conjuguées de flux d'enthalpie H et de température T et, d'autre part, D , le débit d'air sec et C_p , la capacité calorifique apparente de l'air chaud saturé, à une température quelconque T , exprimée en degrés Kelvin. A cet égard, on rappellera que la capacité calorifique C_p de l'air sec a une valeur constante de 1000 joules par degré et par kilogramme mais que, en revanche, la capacité calorifique apparente C_p de l'air chaud saturé en vapeur est de 740 kJ/K/kg d'air sec, entre 91 et 92°C, et seulement de 16,4 kJ/K/kg d'air sec, en moyenne entre 24 et 45°C.

On notera que, dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air circulant à l'encontre de la convection naturelle, l'interface à travers lequel s'effectuent les transferts de chaleur entre les courants montant et descendant est la surface libre de la saumure. En revanche, dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air circulant par convection naturelle, cet interface est la surface libre de l'eau distillée.

A partir de ces constatations de base, afférentes à un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air, un second logiciel a été développé qui permet de calculer les profils des températures le long des parois interne et externe de plaques creuses à faces planes en polymère. En partant des températures en haut des plaques, avec une valeur $t.dH/V = 2400$ kJ/m³ et des valeurs $T_1 = 92^\circ\text{C}$ et $T_2 = 91^\circ\text{C}$, (ce qui correspond à un écart local donné de flux d'enthalpie de valeur dH_1), et en prenant une vitesse de circulation de l'air sec v_1 de 10cm/s (ce qui, à titre d'exemples, donne $v = 20$ ou 40 cm/s pour de l'air humide à 50% ou 75% de pression partielle de vapeur), le calcul a été arrêté pour une température T_4 , au bas des espaces inter-plaques, compatible avec celle des sources froides naturelles disponibles (20 à 30°C, par exemple). La courbe A_2 représente la fonction $T = f_1(h)$ le long des faces internes chaudes des plaques creuses et la courbe C_2 représente la fonction $T = f_2(h)$ le long de leurs faces externes froides. Pour ce qui concerne cette courbe C_2 , on notera qu'aucune courbe C_1 n'apparaît sur la figure 1, puisqu'elle se déduirait de la courbe A_1 , par un simple décalage dT constant (aux pertes près). En revanche sur la figure 2, cette courbe C_2 se distingue nettement de la courbe A_2 puisque l'écart croissant en degrés ($^\circ\text{C}$), qui les sépare l'une de l'autre à chaque niveau décroissant h , exprime l'écart local constant de flux d'enthalpie dH_1 , qui correspond aux valeurs de T_1 et T_2 , exprimées plus haut. Avec T_1 abaissé à 91,5°C et T_2 maintenu à 91°C, la courbe C_2 demeurerait inchangée et la courbe A_3 obtenue se situerait à peu près à égale distance des courbes A_2 et C_2 représentées. Avec T_1 maintenu à 92°C et T_2 abaissé à 90°C, la courbe A_2 demeurerait inchangée et la courbe C_3 obtenue se déduirait des courbes A_2 et C_2 représentées par un décalage à chaque niveau, à peu près double de celui de ces deux courbes représentées. On notera que ces commentaires s'appliquent sans correction à de l'eau

pure faisant l'objet d'une distillation mais pas tout à fait à de l'eau salée. En effet, pour deux eaux de mer, à 35 ou 70 grammes de chlorure de sodium par litre, les températures d'ébullition sont respectivement de 100,5°C et 101°C. Ce qui veut dire que pour ces eaux, au cours d'une opération de distillation, un écart de température de sensiblement 0,5°C ou 1°C est consommé par le travail de dessalement de ces eaux et donc neutralisé

5 pour leur distillation.

Pour ce qui concerne les courbes A_1 de la fig. 1 (contre-courant d'eau) et A_2 de la fig.2 (contre courant d'air), on notera que la courbe A_2 , à l'inverse de A_1 , présente une concavité très forte, dirigée vers le haut des plaques. Ce qui veut dire que les échanges thermiques par diffusion de vapeur, dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air, sont beaucoup plus importants vers les basses températures que vers les hautes. Dans

10 ces conditions, la recherche du maximum de C_{IE} a été faite à partir des basses températures. Dans cette zone en effet, les flux de chaleur qui traversent les parois des plaques creuses, entre les tranches en regard des deux fluides circulant en sens inverses, sont beaucoup plus grands pour un même écart de flux d'enthalpie, du fait du plus grand écart de température auquel cet écart local de flux d'enthalpie correspond.

La courbe B_2 de la figure 2 représente l'évolution de C_{IE} en fonction de la variable composite $t.dH/V$ (en

15 kilojoules par m^3) à retenir dans le cas d'un alambic à contre-courant d'air. Cette évolution est peu sensible à l'écart (T_1-T_2) et donc à la valeur de l'écart local de flux d'enthalpie dH_1 visé plus haut, qui a servi à calculer cette courbe B_2 . Le maximum de C_{IE} correspond, sur la courbe A_2 , à une température T_1 d'environ 85°C, à l'entrée des plaques creuses et, pour l'écart local dH_1 retenu, la valeur de T_2 lue sur la courbe C_2 est d'environ 80°C, à la sortie des espaces inter-plaques. La valeur de T_1 , à l'entrée des plaques creuses, est déterminée

20 par la température maximale de la source chaude disponible et la valeur de T_4 , à l'entrée des espaces inter-plaques, par la température minimale de la source froide naturelle disponible. Dans le cas où cette source froide est le liquide à distiller entrant à 25°C, il est possible, au moyen d'un échangeur thermique approprié, d'avoir une valeur T_4 de 30°C. Dans ce cas, avec les conditions visées plus haut (dH_1 et v_1), on a $T_3 = 68°C$. Avec une valeur T_4 supérieure, la valeur de T_3 augmente et, dans ce cas, le maximum de C_{IE} est moins élevé

25 et il est obtenu pour une valeur $t.dH/V$ plus grande. De même, pour un écart local dH plus grand ou plus petit que la valeur dH_1 visée plus haut, si l'on conserve à T_4 une valeur aussi faible que possible (30°C, par exemple), on aura un maximum de C_{IE} variant en sens inverse, c'est-à-dire un peu moins ou un peu plus élevé que précédemment, à condition que la variable composite $t.dH/V$ varie comme dH .

Sur la figure 2, le Coefficient Intrinsèque d'Efficacité de l'alambic C_{IE} , défini par $C_{OP}.Q/V$ ou $Q^2/P.V$ ou encore $k.(T_1-T_3)$, présente un maximum de 95 m^3 d'eau douce par jour et par m^3 actif d'alambic, pour une

30 valeur de la variable composite $t.dH/V$ de 382 kilojoules/ m^3 . La valeur optimale du C_{IE} est supérieure à 84, ce qui correspond à $210 < t.dH/V < 740$ kJ/ m^3 et une plage optimale $78 < T_1 < 91°C$. En pratique cependant, il est clair qu'est tout à fait bienvenue toute valeur de C_{IE} supérieure au tiers, par exemple, de sa valeur maximale possible (laquelle est de l'ordre de 100, pour les plaques creuses, aux caractéristiques définies ci-après,

35 retenues pour le calcul). Ce qui veut dire que dès lors que T_4 a pu prendre une valeur très basse (jusqu'à 10°C, par exemple, si l'on a pu refroidir le liquide à distiller entrant, par des moyens naturels économiques), toutes valeurs de T_1 définies par la plage de température $74°C < T_1 < 91°C$ et, dans le cas des résultats de l'étude représentés à la figure 2, toutes les valeurs de la variable composite $t.dH/V$ qui sont définies par la

40 plage 100 kJ/ $m^3 < t.dH/V < 1300$ kJ/ m^3 , permettent de construire un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur à haute productivité.

Les résultats précédents ont été obtenus pour des plaques creuses minces à paroi planes, qui ont une épaisseur interne $e = 2$ mm, un espace inter-plaques identique, une épaisseur de paroi et de revêtement

hydrophile de 0,6 mm et donc un pas $p = 5,2$ mm. Les plages de valeurs optimales définies ci-dessus varient peu lorsque le rapport e/p demeure sensiblement constant, le maximum de C_{IE} étant quant à lui d'autant plus élevé que les paramètres e , a et p ont leurs valeurs minimales, imposées par des considérations pratiques. Ces considérations ont pour objet de faire en sorte que les pertes de charge dans les espaces inter-plaques soient toujours acceptables, ce qui limite à 2 mm les épaisseurs internes e et a minimales des plaques creuses et de leurs espaces inter-plaques. En revanche, si l'on conserve cette valeur de e et que l'on crée un nouveau modèle de plaques creuses à parois planes particulièrement minces (0,15 mm d'épaisseur totale de paroi et de revêtement hydrophile), des résultats bien meilleurs que ceux illustrés par les courbes de la figure 2 sont obtenus. Une telle plaque creuse d'échange thermique de distillation sera décrite ci-après à la fig.13.

0 Avec ce nouveau modèle de plaques, le maximum calculé de C_{IE} est considérablement augmenté (297 $m^3/jour$, par m^3 de volume actif, au lieu de 95), si l'on prend $e = 2$ mm et $p = 4,5$ mm. Avec une épaisseur interne $e = 3$ mm, un espace inter-plaques identique et un pas $p = 6,5$ mm, ce maximum tombe à 132. Quant aux courbes A_2-C_2 et aux valeurs optimales (ou simplement efficaces, parce qu'elles fournissent des résultats tout à fait satisfaisants) des températures T_1 , T_2 , T_3 et T_4 , elles demeurent à peu près les mêmes.

5 Si l'on inverse le sens de circulation du gaz caloporteur, pris en compte dans le calcul précédent, en faisant circuler ce gaz de bas en haut (et non plus de haut en bas) dans les plaques creuses et de haut en bas (et non plus de bas en haut) dans les espaces inter-plaques, des résultats sensiblement identiques sont obtenus.

Ces résultats démontrent l'intérêt exceptionnel que présentent les alambics à diffusion de vapeur et contre-courant d'air puisque, dans le cadre des limites de la technologie actuellement disponible, ils peuvent aisément afficher des C_{IE} compris entre 30 et 100, alors que les alambics à contre-courant d'eau affichent des C_{IE} de 18 au plus,

Le premier objet de la présente invention concerne des perfectionnements et des extensions, susceptibles d'être apportés au procédé général de distillation, à fluide caloporteur liquide ou gazeux et à diffusion de vapeur dans un gaz, incondensable, décrit dans ladite invention antérieure, qui découlent des lois physiques régissant le fonctionnement des alambics mettant en œuvre ce procédé général.

Le deuxième objet de l'invention concerne deux types de perfectionnements, résultant des lois physiques en question, susceptibles d'être apportés aux procédés et appareils particuliers de distillation à diffusion de vapeur, dans lesquels le fluide caloporteur est le liquide à distiller et le sens de circulation de ce liquide, celui décrit dans ladite demande antérieure ou le sens inverse.

Le troisième objet de l'invention concerne deux autres types de perfectionnements, résultant des lois physiques en question, susceptibles d'être apportés aux procédés et appareils particuliers de distillation à diffusion de vapeur, dans lesquels le fluide caloporteur est le gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, et le sens de circulation de ce gaz, celui décrit dans ladite demande antérieure ou le sens inverse.

Le quatrième objet de l'invention concerne des alambics à diffusion de vapeur, dans lesquels les échangeurs thermiques simples utilisés ont une architecture nouvelle compacte, à faible coût.

Le cinquième objet de l'invention concerne un échangeur thermique de distillation, comportant un élément actif monobloc, adapté aux nécessités d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur.

40 Le sixième objet de l'invention concerne les moyens de connecter en toute sécurité de grandes plaques creuses minces d'échange thermique de distillation, à leurs conduits d'entrée et de sortie de fluide caloporteur.

Le septième objet de l'invention concerne les moyens de répandre efficacement et en toute sécurité le liquide à distiller sur les faces extérieures des parois de plaques creuses d'échange thermique de distillation.

Le huitième objet de l'invention concerne de nouvelles plaques creuses de distillation, minces et souples, à parois planes très fines, utilisables dans les alambics à diffusion de vapeur et gaz caloporteur ;

5 Le neuvième objet de l'invention concerne des sources chaudes spécialement adaptées aux nécessités particulières de certains des appareils de distillation visés plus haut.

Selon un perfectionnement de ladite invention antérieure, un procédé général de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, notamment pour produire de l'eau
10 douce ou des concentrés, dans lequel :

- des échanges thermiques à contre-courant sont effectués par un fluide caloporteur unique, liquide ou gazeux, circulant en circuit fermé le long de surfaces, respectivement chaudes S_c et froides S_r , liées par une conduc-
tance thermique importante ;
- lesdites surfaces S_c et S_r sont des faces de parois de plaques creuses minces d'échange thermique de
15 distillation, installées en grand nombre, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, comportant des espaces inter-plaques étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz inconden-
sable, notamment d'air à pression atmosphérique ;

est caractérisé en ce que :

- le fluide caloporteur circule, dans un premier sens ascendant ou descendant, le long des surfaces chaudes
20 S_c , en passant d'une température initiale élevée T_1 à une température finale T_3 inférieure à T_1 puis, dans un second sens inverse du premier, le long des surfaces froides S_r , en passant d'une température initiale T_4 , inférieure à T_3 , à une température finale T_2 , supérieure à T_4 et inférieure à T_1 ;
- en haut des faces externes des parois des plaques creuses de distillation, à l'intérieur desquelles le fluide caloporteur circule dans ledit premier sens, du liquide à distiller est répandu qui s'étale et descend lentement
25 en couches fines le long de ces faces externes ;
- sous l'action du courant de fluide caloporteur circulant dans ledit premier sens, une partie du liquide à distiller répandu sur lesdites faces externes s'évapore, cependant que ce courant se refroidit, passant de T_1 à T_3 , et que la vapeur produite diffuse dans le gaz incondensable présent dans les espaces inter-plaques ;
- sous l'action du courant de fluide caloporteur circulant dans ledit second sens, la vapeur diffusée dans le gaz
30 incondensable se condense, cependant que ce courant se réchauffe, passant de T_4 à T_2 , sous l'effet d'une récupération quasi totale de la chaleur latente de condensation de la vapeur diffusée ;
- une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces S_c et S_r , pour augmenter la température du fluide caloporteur de T_2 à T_1 ;
- une source froide est disposée entre les extrémités les moins chaudes de ces surfaces S_c et S_r , pour abaisser
35 la température du fluide caloporteur de T_3 à T_4 ;
- un écart local sensiblement constant dH de flux d'enthalpie est établi entre les surfaces S_c et S_r , en donnant des amplitudes appropriées aux échanges thermiques respectivement effectués entre le courant de fluide caloporteur et lesdites sources chaude et froide ;
- les températures optimales du fluide caloporteur T_1 , T_2 et T_3 , T_4 , aux extrémités de ces mêmes surfaces, sont
40 déterminées à partir du maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité $C_{IE} = Q^2/P.V$ de l'installation, Q étant la puissance thermique de distillation échangée, P étant la puissance thermique fournie par la source chaude et V , le volume actif de l'installation .

Grâce à ces dispositions, le procédé général de distillation, utilisant un fluide caloporteur unique, liquide ou gazeux, décrit dans ladite invention antérieure, est à la fois élargi et optimisé. Tout d'abord, on ajoute deux nouveaux types d'alambics aux deux types antérieurs, précédemment décrits. Cela, en utilisant des composants identiques ou équivalents et en donnant deux possibilités au lieu d'une seule, aux sens de circulation de l'un ou l'autre des deux fluides caloporteurs prévus. Ensuite, en application des conclusions de la modélisation mathématique des phénomènes particuliers d'échange thermique, existant dans les alambics à diffusion de vapeur selon ladite invention antérieure, on en fixe les caractéristiques thermiques relatives et absolues, à savoir l'écart local constant de flux d'enthalpie entre les surfaces S_c et S_r et les températures du fluide caloporteur aux entrées et sorties des plaques creuses minces et/ou de leurs espacements. Grâce à quoi, l'efficacité de la distillation effectuée peut être comprise, contrôlée et ainsi maximisée.

Selon l'invention, un premier procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, notamment pour produire de l'eau douce, conforme au procédé général perfectionné défini ci-dessus, dans lequel :

- le fluide caloporteur est le liquide à distiller ;
- les plaques creuses minces d'échange thermique de distillation sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée, les faces internes de leurs parois respectives constituant lesdites surfaces chaudes S_c et froides S_r ;
- du liquide à distiller est répandu sur les faces externes des parois des seules plaques chaudes ;

est caractérisé en ce que :

- le liquide caloporteur circule, dans un premier sens ascendant ou descendant, à l'intérieur des plaques chaudes, il y entre très chaud à la température T_1 et il en sort refroidi à la température T_3 , après avoir provoqué une évaporation partielle du liquide à distiller en écoulement sur les faces externes des parois de ces plaques ;
- à la sortie de ces plaques creuses chaudes, le liquide caloporteur à la température T_3 est refroidi jusqu'à la température T_4 ;
- ensuite, le liquide caloporteur à la température T_4 entre à l'intérieur des plaques creuses froides où il circule dans un second sens, inverse du premier, en provoquant, sur les faces externes des parois de ces plaques froides, une condensation de la vapeur diffusée à travers la lame de gaz incondensable de l'espace interplaques et en récupérant la quasi totalité de la chaleur de condensation de cette vapeur pour se réchauffer, et finalement il sort des plaques froides à la température T_2 ;
- au cours de ces opérations, les flux de chaleur traversent les parois des plaques creuses chaudes et froides ainsi que les lames immobiles de gaz incondensable qui les séparent ;
- le liquide distillé descend le long des faces externes des parois des plaques froides cependant que le liquide concentré descend le long des faces externes des parois des plaques chaudes ;
- la température optimale T_1 du liquide caloporteur, à l'entrée des plaques creuses chaudes, est aussi peu que possible inférieure à la température d'ébullition de ce liquide à pression atmosphérique ;
- la température optimale T_3 du liquide caloporteur, à la sortie des plaques creuses chaudes, est relativement élevée et située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité C_{IE} de l'installation ;
- les écarts de température (T_1-T_2) et (T_3-T_4) sont faibles, avec (T_1-T_2) un peu supérieur à (T_3-T_4) .

Selon des caractéristiques complémentaires de ce procédé de distillation, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur,

- la correspondance, entre la plage optimale des températures T_3 et le maximum de C_{IE} , est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives avec une variable composite $t.dT$, dans laquelle t est le temps de

transit du liquide caloporteur dans les plaques et dT , l'écart de température entre les liquides circulant dans les plaques creuses froides et chaudes ;

- la plage intéressante de la température T_3 est l'intervalle 58 à 78°C, lorsque le liquide à distiller est de l'eau ;
- l'écart optimal de température dT est établi par un ajustement du rapport entre la puissance de chauffe de la

5 source chaude et le débit massique D de liquide caloporteur circulant ;

- la valeur optimale choisie pour dT est relativement élevée lorsque le coût unitaire de l'énergie thermique, aisément disponible sur le lieu de mise en œuvre du procédé, est relativement faible ;
- le temps de transit optimal t du fluide caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique D du liquide caloporteur circulant en boucle fermée.

10 Grâce à ces dispositions, le procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur devient un procédé réellement efficace, faisant appel à des étapes nouvelles particulièrement simples à mettre en œuvre, en application des conclusions de la modélisation mathématique des phénomènes concernés. Ces étapes consistent à augmenter notablement la température du liquide à distiller entrant dans l'installation, avant de le mélanger au liquide à distiller circulant en boucle fermée, par un simple échange thermique avec

15 les liquides distillé et concentré, sortant de l'installation à une température moyenne élevée, proche de T_3 . Cette valeur T_3 est particulièrement élevée (58 à 78°C), en application desdites conclusions, du fait de la température maximale T_1 (100°C) du liquide sortant de la chaudière et du réglage approprié du temps de transit t du liquide caloporteur dans les plaques creuses, en accord avec la valeur choisie pour l'écart dT de température entre ces plaques.

20 Selon la présente invention, ce premier procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, dans lequel le liquide caloporteur circule, de préférence par thermosiphon, de haut en bas à l'intérieur des plaques creuses chaudes et de bas en haut à l'intérieur des plaques creuses froides, est en outre caractérisé en ce que, suivant un premier ensemble de dispositions :

- un échange thermique de réchauffement est effectué entre le débit d de liquide à distiller entrant dans
- 25 l'installation à la température T_{L1} et les deux débits de liquides distillé et concentré qui en sortent, de manière à porter la température de ce débit d à une valeur intermédiaire optimale T_{L2} , relativement élevée ;
- un mélange est effectué entre ce débit entrant d , ainsi réchauffé à la température T_{L2} , et le débit D de liquide caloporteur sortant des plaques chaudes à la température T_3 , le rapport d/D étant ajusté de façon que le mélange réalisé ait une température T_4 optimale à l'entrée des plaques froides .

30 Selon la présente invention, ce premier procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, dans lequel le liquide caloporteur circule par thermosiphon, de bas en haut à l'intérieur des plaques creuses chaudes et de haut en bas à l'intérieur des plaques creuses froides, est caractérisé en ce que, suivant un second ensemble de dispositions, le débit d de liquide à distiller entrant à la température T_{L1} est ajouté au débit D de liquide caloporteur sortant à la température T_3 des plaques chaudes, le rapport d/D étant ajusté de façon

35 que le mélange réalisé soit à une température T_4 optimale à l'entrée des plaques froides, un débit d de liquide à température T_3 ou T_4 étant répandu en haut des faces externes des plaques chaudes.

Grâce à ces deux dernières dispositions selon l'invention, une première et une deuxième forme de réalisation des alambics, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur circulant à contre-courant en circuit fermé, sont possibles, la première ayant toutefois un CoP supérieur à celui de la seconde, qui cependant demeure

40 intéressante, bien que soient élevées les températures des liquides concentré T_1 et distillé T_2 , à évacuer. Cet inconvénient peut toutefois être aisément corrigé si, par des échanges thermiques appropriés, on récupère cette énergie thermique pour réchauffer le liquide à distiller à répandre en haut des plaques chaudes.

Selon l'invention, un second procédé particulier de distillation à diffusion de vapeur, notamment pour produire de l'eau douce, conforme au procédé général perfectionné défini plus haut, dans lequel :

- le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;
- du liquide à distiller est répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses
- 5 d'échange thermique de distillation, ces faces externes constituant lesdites surfaces chaudes S_c cependant que les faces internes des parois de ces plaques constituent lesdites surfaces froides S_f ;
- est caractérisé en ce que :
- le courant de gaz caloporteur à température T_1 entre à l'intérieur de toutes les plaques creuses de distillation, où il circule dans un premier sens ascendant ou descendant, cependant qu'une partie de sa vapeur se
- 10 condense sur les faces internes des parois des plaques, que des flux de chaleur, dus à une récupération partielle de la chaleur latente de condensation, traversent les parois des plaques pour évaporer une partie du liquide en écoulement sur les faces externes de ces parois et que, de ce fait, ce courant de gaz se refroidit et finalement sort des plaques creuses à la température T_3 ;
- à la sortie de ces plaques, ce courant de gaz caloporteur à température T_3 est refroidi jusqu'à la température
- 15 T_4 et le liquide distillé, condensé à cette occasion, est récupéré ;
- ensuite, ce courant de gaz caloporteur, à la température T_4 , entre dans les espaces inter-plaques, où il circule dans un second sens, inverse du premier, en emportant la vapeur produite dans ces espaces et en se réchauffant, et finalement il sort de ces espaces à la température T_2 ;
- le liquide distillé, condensé sur les faces internes des parois des plaques creuses, descend le long de ces
- 20 faces internes cependant que le liquide concentré descend le long des faces externes de ces parois ;
- la température optimale T_1 du courant de gaz caloporteur saturé, à l'entrée des plaques creuses, est située dans une plage qui correspond à une large zone autour du maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité C_{IE} de l'installation ;
- la température optimale T_4 du courant de gaz caloporteur, qui entre dans les espaces inter-plaques, a préalablement été rendue aussi proche que possible de la température minimale de la source froide naturelle
- 25 disponible sur place, en refroidissant d'une manière adéquate le courant de gaz à température T_3 qui sort des plaques creuses ;
- l'écart de température $(T_1 - T_2)$ est faible et l'écart $(T_3 - T_4)$, important.

Selon des caractéristiques complémentaires de ce procédé perfectionné de distillation, à diffusion de

- 30 vapeur et gaz caloporteur,
- la correspondance entre la plage optimale des températures T_1 et la zone du maximum de C_{IE} est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives entre une variable composite $t.dH/V$, dans laquelle t est le temps de transit dans les plaques, dH , un écart local sensiblement constant de flux d'enthalpie entre les parois internes et externes des plaques et V , le volume actif de l'installation ;
- 35 - la plage intéressante de la température T_1 est à peu près comprise entre 74 et 91°C ;
- l'écart local optimal de flux d'enthalpie dH , entre deux niveaux en regard des parois interne et externe des plaques, est établi par ajustement du rapport entre la puissance de chauffe et le débit massique circulant du gaz caloporteur ;
- la valeur optimale de dH est relativement élevée lorsque le coût de l'énergie thermique, aisément disponible
- 40 sur le lieu d'utilisation de l'appareil, est relativement faible ;
- le temps de transit optimal t du gaz caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique D de ce gaz.

Grâce à ces dispositions, la température T_4 du gaz caloporteur, injecté à l'entrée des espaces inter-plaques, (en bas de ces espaces, dans un premier cas ou en haut dans un second) est peu supérieure à la température du liquide à distiller entrant dans l'appareil (par exemple 25°C) et très inférieure à la température T_3 de ce même gaz caloporteur en sortie des plaques creuses. Dans ces conditions, l'écart local de flux d'enthalpie dH , entre les courants de gaz caloporteur, à température et capacité calorifique variables tout au long des faces internes et externes des plaques creuses d'échange thermique, peut, sur toute la hauteur de ces plaques, demeurer sensiblement constant et égal (aux pertes près) celui imposé par la source chaude appropriée, disposée entre la sortie des espaces inter-plaques et l'entrée de ces mêmes plaques. A cet égard, on notera que les écarts de température entre les courants de gaz caloporteur à la sortie des plaques creuses et à l'entrée des espaces inter-plaques, sont en revanche très différents. A titre d'exemple, on aura un écart $(T_1 - T_2) = 5^{\circ}\text{C}$, avec $T_1 = 85^{\circ}\text{C}$, à une extrémité des plaques et $(T_3 - T_4) = 38^{\circ}\text{C}$, avec $T_3 = 68^{\circ}\text{C}$, à leur autre extrémité.

- Selon l'invention, ce second procédé particulier de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, est en outre caractérisé en ce que, suivant un premier ensemble de dispositions,
- 15 - le courant de gaz à température T_1 est introduit en haut des plaques creuses de distillation et il en sort par le bas à la température T_3 ;
 - à la sortie des plaques creuses de distillation, ce courant de gaz à température T_3 est soumis à un échange thermique de refroidissement, assuré par une source froide à la température T_{L1} , constituée par le débit entrant de liquide à distiller, afin que, compte-tenu des caractéristiques massiques et thermiques respectives
 - 20 de ce courant de gaz et de ce débit de liquide, la température T_3 du courant de gaz soit abaissée jusqu'à une température optimale T_4 et la température du liquide portée à T_{L2} ;
 - après cet échange thermique, le liquide à distiller à température T_{L2} est réchauffé par une source chaude ;
 - le courant de gaz à température T_4 est introduit en bas des espaces inter-plaques et il en sort par le haut à la température T_2 ;
 - 25 - le courant de gaz circule en circuit fermé dans les plaques creuses de distillation et dans les espaces inter-plaques, sous l'action d'au moins un propulseur ;
 - à la sortie des espaces inter-plaques, le courant de gaz à température T_2 est réchauffé et saturé en vapeur, par un contact physique adéquat avec le liquide à distiller réchauffé par la source chaude, de manière à prendre une température T_1 optimale ou simplement efficace ;
 - 30 - après son contact physique avec le courant de gaz à température T_2 , le liquide à distiller est répandu, à température proche de T_1 , en haut des faces externes des parois des plaques creuses, et il en sort en bas, à une température proche de T_4 ;
 - le liquide distillé, condensé au cours dudit échange thermique de refroidissement, et celui, condensé sur les faces internes des plaques creuses, sont collectés puis évacués et récupérés ;
 - 35 - le liquide concentré est recueilli en bas des faces externes des parois de ces plaques puis il est évacué et, le cas échéant, récupéré .

- Selon l'invention, ce second procédé particulier de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, est en outre caractérisé en ce que, suivant un second ensemble de dispositions,
- 40 - le courant de gaz à température T_1 est introduit en bas des plaques creuses de distillation et il en sort par le haut à la température T_3 ;
 - à la sortie des plaques creuses de distillation, ce courant de gaz est soumis à un échange thermique de refroidissement, assuré par une source froide à la température T_{L1} , constituée par le débit entrant de liquide à

distiller, afin que, compte-tenu des caractéristiques massiques et thermiques de ce courant de gaz et de ce débit de liquide, la température T_3 du courant de gaz soit abaissée jusqu'à une température optimale T_4 ;

- après cet échange thermique, du liquide à distiller est répandu en haut des faces externes des parois des plaques creuses, il descend le long de ces faces externes et il les quitte à une température proche de T_2 ;

- 5 - le courant de gaz, à température T_4 , est introduit en haut des espaces inter-plaques et il en sort par le bas à la température T_2 ;
- à la sortie des espaces inter-plaques, le courant de gaz à température T_2 est réchauffé et saturé en vapeur, de manière à prendre une température T_1 optimale ou simplement efficace;
- le courant de gaz à température T_1 est introduit en bas des plaques creuses et, au moins par convection naturelle, il monte à l'intérieur de ces plaques, il traverse ensuite une zone où il subit ledit échange thermique de refroidissement puis, à température T_4 , il entre et descend par gravité dans les espaces inter-plaques;
- 10 - le liquide distillé, condensé au cours de l'échange thermique de refroidissement et celui condensé le long des faces internes des parois des plaques creuses sont collectés puis évacués et récupérés;
- en sortant des espaces inter-plaques, le liquide à distiller devenu concentré est collecté en vue d'une
- 15 évacuation immédiate ou différée.

Selon une caractéristique particulière du procédé ainsi défini, le liquide à distiller concentré qui sort des espaces inter-plaques, est réchauffé par une source chaude et, par un contact physique adéquat avec ce liquide ainsi réchauffé, le courant de gaz à la température T_2 est réchauffé et saturé, afin de prendre une température T_1 optimale ou simplement efficace.

- 20 Selon une autre caractéristique particulière du procédé ainsi défini,
- le liquide distillé circule de bas en haut dans des plaques creuses auxiliaires verticales de récupération thermique, séparées par des espaces inter-plaques étroits;
- le cas échéant, il en est de même pour le liquide concentré collecté;
- ces plaques creuses auxiliaires sont à la fois minces, rigides et pourvues de revêtements extérieurs, hydro-
- 25 philes ou mouillables;
- du liquide à distiller, de préférence à température aussi basse que possible, est répandu en haut de ces revêtements;
- une partie du courant de gaz à la température T_4 circule de haut en bas le long de ces revêtements ainsi humidifiés;
- 30 - le courant de gaz chaud saturé qui quitte ces revêtements est ajouté à celui qui sort des espaces inter-plaques des plaques creuses de distillation, puis le mélange est réchauffé et saturé afin de prendre une température T_1 optimale ou simplement efficace;
- les liquides distillé et concentré sortent par le haut de ces plaques creuses de récupération thermique avec des températures fortement abaissées puis ils sont évacués et au moins l'un d'entre eux est récupéré.

- 35 Grâce à ces deux derniers ensembles de dispositions principales, deux formes de réalisation des alambics à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, circulant à contre-courant en circuit fermé, dans un sens ou dans l'autre, sont possibles. En conclusion des commentaires des courbes de la figure 2 ci-dessus, ils présentent de nombreux avantages particulièrement intéressants, comme cela sera précisé en détail ci-après. On notera dès à présent que les températures des liquides distillé et concentré qui sortent du bloc de récupération
- 40 thermique et de fourniture d'un supplément de vapeur au courant de gaz caloporteur, présentent des différences relativement faibles par rapport à la température du liquide à distiller entrant. Ce qui a pour résultat d'assurer un COP et un CIE élevés aux appareils de distillation concernés.

Pour ce qui est de la chaudière, utilisable dans les deux formes de mise en œuvre de chacun des deux procédés particuliers de distillation perfectionnés selon l'invention, on notera qu'elle peut prendre les formes les plus diverses, soit pour chauffer le liquide à distiller soit pour réchauffer et sursaturer le gaz caloporteur. En principe, si l'on ne fera usage qu'en dernier ressort, de la forme primaire de chauffage qui consiste à
5 chauffer par une flamme le fond d'un récipient dans lequel circule le liquide à distiller, on pourra avantageusement, comme on le verra plus loin, utiliser ce moyen de chauffage pour réchauffer et sursaturer le courant d'air caloporteur. Il en sera de même en général du chauffage électrique, pour des raisons économiques. En général, on utilisera une chaudière dont la chambre de chauffe comporte un ou plusieurs tubes de chauffe appropriés, par exemple immergés dans ou arrosés par le liquide à distiller, qui seront
10 traversés par un fluide de chauffage disponible. Un tel fluide de chauffage pourra être le liquide de refroidissement primaire d'un moteur thermique, les gaz d'échappement d'un tel moteur, les gaz produits par un brûleur de combustible liquide ou gazeux, ou encore une huile thermique, chauffée le jour par une chaudière solaire à réflecteur cylindrico-parabolique, et stockée à haute température ($>130^{\circ}\text{C}$), pour un usage de jour et de nuit, dans un réservoir calorifugé, à pression atmosphérique. Une chaudière solaire appropriée
15 peut être utilisée le jour, pour réchauffer et sursaturer le courant d'air caloporteur.

Par ailleurs, si, dans les alambics à diffusion de vapeur et gaz caloporteur circulant de haut en bas dans les plaques creuses, on fait en sorte que le liquide à distiller soit, quel que soit le type de chaudière utilisé, chauffé à une température et une pression plus élevées que leurs valeurs standard à l'ébullition (102°C et 60 millibars de surpression, par exemple, pour de l'eau), il devient possible de supprimer tout propulseur
20 mécanique du gaz caloporteur et de lui substituer un simple jet de vapeur calibré, correctement orienté. Cette technique donne un résultat équivalent à celui apporté par la convection naturelle que l'on obtiendrait avec un gaz caloporteur circulant de bas en haut dans les plaques creuses. Ces techniques présentent toutes deux un intérêt très important pour la fiabilité des alambics devant opérer en dehors d'un environnement industriel. Il en est de même pour les alambics à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, dans lesquels ce liquide circule
25 par thermosiphon.

Pour la mise en œuvre de ces différents procédés particuliers de distillation selon la présente invention, il est nécessaire d'utiliser plusieurs dispositifs d'échange thermique, respectivement adaptés aux fonctions particulières qui leur sont affectées, à savoir : échange gaz / liquide ou échange liquides / liquide. Pour les
30 échanges thermiques simples, sans distillation, il est possible d'utiliser les échangeurs thermiques disponibles sur le marché, mais leurs prix apparaissent particulièrement élevés, si on les compare à celui de tous les échangeurs thermiques de distillation, en forme de plaques creuses, minces et souples, en polymère, décrits dans la demande PCT concernant l'invention antérieure. Ce qui, dans le cas d'un alambic à diffusion de vapeur selon la présente invention, rend inutilisables d'un point de vue économique ces échangeurs du
35 marché. Pour ce qui concerne les échanges thermiques simples, prévus selon la présente invention, les plaques creuses souples et minces, décrits dans cette demande PCT, peuvent les assurer, si on les adapte à leurs nouvelles fonctions. Mais, il serait souhaitable qu'un autre type d'échangeur thermique, mieux adapté à ses deux cas d'utilisation, (simple échange ou distillation) soit disponible à des conditions techniques et économiques satisfaisantes.

40 Selon une autre invention de Jean-Paul DOMEN, qui fait l'objet de la demande de brevet international PCT, intitulée « Echangeur thermique. Procédés et moyens de fabrication de cet échangeur », déposée sous le N° Fr 03/03692, le 12 décembre 2003, par la société « TECHNOLOGIES DE L'ECHANGE THERMIQUE »,

un échangeur thermique à contre-courant compact, notamment pour fluides confinés, est décrit qui apporte à la troisième forme de réalisation de la présente invention des conditions de mise en œuvre particulièrement intéressantes. En effet, cet échangeur thermique nouveau combine, d'une part, quatre caractéristiques techniques importantes, à savoir : grande efficacité, compacité optimale, poids réduit et inaltérabilité intrinsèque et, d'autre part, une caractéristique économique essentielle, dont sont dépourvus les échangeurs thermiques actuellement disponibles sur le marché, à savoir, un faible coût de production. Un tel échangeur thermique convient particulièrement bien aux nécessités des échanges thermiques classiques que comportent les quatre formes de réalisation de la présente invention. En outre, ce nouveau type d'échangeur permet, grâce à un perfectionnement selon la présente invention, de concevoir une architecture nouvelle pour un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur selon la troisième forme de réalisation de l'invention. Ce qui en multiplie l'intérêt et permet de remplacer avantageusement les grandes plaques rectangulaires d'échange thermique, souples ou rigides, décrites dans la demande PCT, visée au début du présent document.

- Selon la demande PCT concernée, un échangeur thermique élémentaire monobloc à grande efficacité, encombrement limité, poids réduit, faible coût de production et, généralement, inaltérabilité intrinsèque,
- 15 - est constitué par une pièce active unique, notamment en polymère, formée sans assemblage ni soudure, par un empilement de paires de plaques allongées, creuses et minces, communicantes et globalement symétriques ;
 - les faces internes des parois de chaque plaque creuse, de même que les faces externes des parois de deux plaques creuses contiguës, sont en tous points séparées les unes des autres par des espaces étroits, sensiblement constants;
 - 20 - ces paires de plaques creuses constituent les conduits élémentaires de la pièce active, lesquels conduits comportent des parties centrales allongées dont les deux extrémités sont reliées les unes aux autres, par deux raccords creux ;
 - chaque conduit élémentaire de la pièce active possède deux collecteurs d'alimentation dont les axes sont
 - 25 confondus avec les axes d'empilement des raccords d'extrémités ;
 - l'une des extrémités de chaque collecteur se termine par une tubulure de connexion de la pièce active.

Cet élément monobloc d'un échangeur thermique peut être utilisé soit en l'état, lorsqu'il doit être installé dans le courant non confiné d'un fluide à réchauffer ou à refroidir, soit enfermé dans une enveloppe, lorsque les deux fluides concernés sont confinés. Dans les deux cas, la manière la plus efficace d'utiliser un tel échangeur

30 thermique est de le faire fonctionner à contre-courant.

- Un procédé pour fabriquer un tel échangeur thermique monobloc comprend les étapes suivantes :
- réaliser dans un moule, par thermosoufflage, une ébauche en un matériau adéquat, constituée par un empilement de soufflets globalement biconvexes, relativement profonds en regard de la dimension transversale de l'ébauche et comparables à ceux d'un accordéon, lesdits soufflets comportant des parties centrales allongées,
 - 35 pourvues de raccords d'extrémités, de flancs, de crêtes et de fonds ayant respectivement des formes adaptées à ce que ces flancs aient une raideur beaucoup plus grande que celles des fonds et des crêtes, ledit empilement étant de son côté pourvu de deux tubulures de connexion, centrées sur les axes d'empilement desdits raccords d'extrémités ;
 - les éléments constitutifs de cette ébauche étant à températures, souplesses et élasticités appropriées, leur
 - 40 appliquer une dépression interne et/ou des forces de compression externes, parallèle à l'axe d'empilement des soufflets, jusqu'à ce que la pièce comprimée ainsi réalisée devienne un empilement de paires de plaques

creuses, communicantes et globalement symétriques, à épaisseur interne et écartement faibles, sensiblement constants ;

- laisser refroidir cette pièce en la maintenant dans son état comprimé ;
- si nécessaire après ce refroidissement, entourer cette pièce d'un organe en assurant le serrage, afin de

5 maintenir à leurs valeurs initiales les écarts entre les parois des paires de plaques.

Selon la présente invention, ce nouvel échangeur thermique à contre-courant pour fluides confinés est pourvu d'une fonction complémentaire, destinée à permettre une bonne évaporation du liquide à distiller, dans un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur. Pour ce faire, la paroi extérieure de l'ébauche de chaque élément actif d'échange thermique utilisé, est rendue hydrophile ou mouillable, soit par un revêtement

10 hydrophile, le cas échéant préformé, dans le cas d'un polymère, soit par un traitement chimique de dépolissage, dans le cas du verre. Une telle ébauche perfectionnée peut à nouveau être fabriquée par thermo-soufflage d'un manchon pâteux, de forme aplatie, produit par une extrudeuse, puis introduit dans un moule adapté à cet effet. Dans le cas d'un polymère, les parois intérieures du moule auront été préalablement garnies dudit revêtement hydrophile.

- 15 Grâce à ces dernières dispositions, les problèmes de soudure, aux solutions complexes et relativement onéreuses, rencontrés à l'occasion de la fabrication, de l'installation et de l'utilisation des grandes plaques rectangulaires, souples ou rigides, d'échange thermique, décrites dans la demande PCT concernée, ne se posent plus. En effet, les seules soudures, à prévoir le cas échéant pour la fabrication de ces différents échangeurs thermiques compacts, utilisés pour la mise en œuvre des procédés de distillation selon la présente
- 20 invention, sont celles d'assemblage des constituants de l'enveloppe de la pièce active, lesquelles soudures sont à la fois peu nombreuses et relativement faciles à réaliser. La durée de vie de ces nouveaux échangeurs thermiques dépend de celle du matériau utilisé et, dans le cas du verre et d'un polymère tel que le polypropylène, elle est supérieure à la durée de vie de l'appareil. L'un des avantages complémentaires de ce type d'échangeurs thermiques monoblocs à ailettes creuses allongées est sa compacité extrême. Ce qui permet
- 25 d'installer, dans un volume donné de chambre de traitement, des surfaces d'échange thermique, notablement plus étendues que celles obtenues avec les éléments creux et plats, de grande dimensions, décrits dans la demande PCT (soit environ 400 m² par mètre cube, au lieu de 120). De plus, comme les paires symétriques de plaques creuses, qui composent cet échangeur thermique compact, peuvent en toute sécurité être notablement plus rapprochées que de grandes plaques creuses (2,5 mm au lieu de 5 mm), le gradient de température dans
- 30 les espaces inter-plaques de l'élément actif d'un tel échangeur, est multiplié par un facteur au moins égal à deux. En conséquence, avec des échangeurs thermiques compacts, permettant d'effectuer une distillation, le Coefficient Intrinsèque d'Efficacité C_{IE} de l'alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur qui les utilise, est, par construction, multiplié par au moins quatre. A cela, il faut ajouter que, dans le cas d'un élément actif en verre, la conductivité thermique de ce matériau est de 1,5 W/m.K, soit sept fois plus que celle des polymères.
- 35 Ce qui augmente notablement la conductance thermique totale à prendre en compte et, sur la figure 2, amène le maximum du C_{IE} à une valeur de 270 au lieu de 95.

Les caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront d'une manière plus précise de la description qui va suivre de formes de réalisation particulières, données à titre d'exemples non limitatifs, en

40 référence aux dessins ci-après dans lesquels :

- les figures 1 et 2 représentent les courbes commentées dans le préambule ci-dessus ;

- la figure 3 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant le liquide à distiller comme fluide caloporteur circulant de haut en bas à l'intérieur de plaques creuses chaudes ;
- la figure 4 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant le liquide à distiller comme fluide caloporteur circulant de bas en haut à l'intérieur de plaques creuses chaudes ;
- 5 - la figure 5 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant de grandes plaques creuses pour les échanges thermiques de distillation et un gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme fluide caloporteur circulant de haut en bas de ces plaques creuses;
- la figure 6 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, utilisant des plaques creuses souples pour les échanges thermiques de distillation et un gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme
- 0 fluide caloporteur circulant de bas en haut de ces plaques creuses;
- la figure 7 représente la disposition en perspective d'un ensemble de trois grandes plaques creuses, minces et souples, à parois ondulées, utilisables pour des échanges thermiques de distillation dans un alambic selon l'invention
- la figure 8 représente le dispositif d'alimentation de six plaques de rang pair ou impair d'un ensemble de ces
- 5 grandes plaques creuses souples d'échange thermique selon l'invention ;
- la figure 9 représente les moyens selon l'invention pour répandre le liquide à distiller sur le revêtement des plaques creuses chaudes d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur ;
- la figure 10 représente les vues de profil et de dessus d'un échangeur thermique monobloc de distillation, à faible coût de production, ainsi que des coupes transversales de cet échangeur et de l'ébauche, à partir de
- 10 laquelle l'élément actif de cet échangeur est fabriqué ;
- les figures 11-12 sont des représentations en perspective simplifiée d'une vue d'ensemble et des détails d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur circulant de haut en bas à l'intérieur de plaques creuses rigides, faisant partie d'échangeurs thermiques monoblocs de distillation ;
- la figure 13 représente une vue perspective simplifiée partielle d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz
- 15 caloporteur circulant de bas en haut à l'intérieur de plaques creuses, minces, planes et souples de distillation.

Selon le schéma de la figure 3, qui constitue la première forme de réalisation d'un alambic selon l'invention, deux plaques 10-12 représentent symboliquement un bloc de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, constitué par un ensemble de grandes plaques alvéolaires rigides (de 50 à 150 dm²), de

10 forme rectangulaire, installées dans la chambre de traitement d'un alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la présente invention. Ces plaques creuses 10-12 ont une faible épaisseur interne (2 à 3 mm par exemple) et sont séparées les unes des autres par un espace libre étroit 14, ayant une épaisseur d'environ 5 mm, rempli d'un gaz incondensable, notamment d'air à pression atmosphérique. La plaque creuse 10 est dite

15 chaude puisqu'affectée à l'évaporation du liquide à distiller et, à cet effet, elle est pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable 16. La plaque creuse 12 est dite froide puisqu'affectée à la condensation de la vapeur diffusée dans le gaz incondensable. Elle comporte, de préférence, un revêtement identique 15. Une chaudière 18, pourvue d'une source chaude 17 et d'une chambre de chauffe 19, située à bonne distance en dessous du

sommet des plaques 10-12, est disposée entre les extrémités hautes de ces plaques et reliée à ces extrémités par des canalisations 11 et 13 et des dispositifs de raccordement 11a et 13a. Cette chaudière 18 fait circuler

20 dans ces plaques creuses 10-12, en circuit fermé et par thermosiphon, un liquide caloporteur constitué par le liquide à distiller. Cette chaudière 18 sera de tout type disponible, notamment à capteur solaire ou à brûleur. La circulation du liquide caloporteur se fait de haut en bas dans la plaque chaude d'évaporation 10 et de bas en

haut dans la plaque froide de condensation 12. La température du liquide entrant dans la plaque 10 est T_1 et celle de ce même liquide, répandu sur le haut du revêtement 16, au moyen d'un dispositif approprié 11c, devient vite légèrement inférieure à T_1 , du fait de son évaporation rapide. Au cours de son trajet dans la plaque creuse chaude 10, le liquide caloporteur s'est refroidi cependant que s'évapore le liquide répandu sur le revêtement 16 et que sa vapeur diffuse dans le gaz incondensable. La température du liquide caloporteur à la sortie de cette plaque 10 est T_3 . Le liquide qui sort de la plaque chaude 10, à travers un dispositif de raccordement 11b identique à 11a, entre dans un mélangeur 20 qui reçoit par gravité de l'eau de mer à distiller, provenant d'un échangeur thermique à contre-courant 22. Cet échangeur 22 est du type compact, à faible coût, qui sera décrit en détail ci-après. Cet échangeur 22 comporte deux éléments actifs d'échange 24-26 et une enveloppe 28 les enfermant. Ces éléments actifs sont reliés aux deux gouttières de collecte 30-32 de la saumure et de l'eau distillée qui s'écoulent du revêtement 16 de la plaque d'évaporation 10 et du revêtement 15 de la plaque de condensation 12. Dans l'enveloppe 28, circule de l'eau de mer froide provenant, à travers un robinet 34 de réglage de débit, d'un réservoir 36 disposé au-dessus des plaques 10-12. A la sortie de l'échangeur 22, l'eau douce et la saumure se déversent dans des gouttières d'évacuation 38-40. La température de l'eau de mer du réservoir est T_{L1} et celle du liquide réchauffé sortant de l'échangeur 22, pour entrer dans le mélangeur 20, est T_{L2} . A la sortie du mélangeur 20, la température de l'eau de mer à distiller est T_4 . Dans l'alambic, le rapport D/d des débits des liquides circulant D et entrant d est compris entre 8 et 12, en fonction de l'efficacité de l'échangeur 22, et de la température usuelle du débit entrant. L'eau de mer sortant du mélangeur 20 entre dans les plaques froides 12 à travers un dispositif de raccordement 13b, identique au dispositif 13a. La condensation de vapeur sur la face extérieure de la plaque 12 provoque un relèvement progressif de la température du liquide circulant, de telle sorte que, à la sortie de la plaque 12, ce liquide est à une température T_2 . L'eau douce, condensée sur la face extérieure de la plaque 12, s'écoule à une température proche de T_4 , et la saumure, en bas du revêtement 16, à une température proche de T_3 .

Pour apprécier l'efficacité d'un tel alambic à diffusion de vapeur, mettant en œuvre des échanges thermiques à contre-courant d'eau, on va procéder à deux applications numériques. A titre d'exemple, l'échangeur thermique compact 22 étant mis hors circuit, l'eau de mer froide à 25°C est directement mélangée au liquide caloporteur sortant à T_3 des plaques chaudes 10. Compte-tenu du rapport, généralement compris entre huit et dix, existant entre les deux débits D et d , les températures aux extrémités des plaques seront, par exemple, les suivantes: $T_1 = 99^\circ\text{C}$, $T_2 = 95^\circ\text{C}$, $T_3 = 68^\circ\text{C}$ et $T_4 = 64^\circ\text{C}$, avec $dT = 4^\circ\text{C}$ et $\text{COP} = (T_1 - T_3)/dT = 8$. Mais, si le prix de l'énergie sur place est élevé, il impose d'augmenter au mieux la valeur de COP , en diminuant la valeur de dT . A titre d'exemple, si l'on veut un COP brut de 16 environ, la valeur de $dT = (T_1 - T_3)/16$. Ce résultat peut s'obtenir sans échangeur thermique 22, comme dans le cas précédent, pour une valeur $T_3 = 54^\circ\text{C}$ et $dT = 2,8^\circ\text{C}$, en ajustant la puissance thermique P de la chaudière et le débit du liquide circulant D . Cette nouvelle valeur de T_3 est en dehors de la plage optimale des températures de sortie des plaques chaudes. Selon la courbe B de la fig.1, on a pour une température $T_3 = 54^\circ\text{C}$, une valeur de CIE de 15,6 au lieu de 17,8 au milieu de la plage optimale de T_3 , soit 12% de moins et donc une production quotidienne de 12% inférieure, pour un COP et un volume actif d'alambic inchangés. En revanche, si l'on met en œuvre l'échangeur thermique compact à faible coût 22, pour amener l'eau de mer à distiller à une température de 45°C et donc l'écart dT à 2°C et T_3 maintenu à 68°C, la valeur de CIE demeure à 17,8. Cette amélioration se traduit par une augmentation du prix de l'alambic égale au prix de l'échangeur 22. Avec un échangeur thermique compact à faible coût, du genre décrit ci-après, ce prix est faible, contrairement aux prix élevés des autres échangeurs thermiques utilisables disponibles sur le marché, et les augmentations du COP et du CIE de distillation qui en

résultent, pour un alambic ainsi équipé, sont parfaitement justifiés du point économique. On notera que le calcul démontre que toute augmentation relative du C_{IE} de distillation d'un alambic à diffusion de vapeur permet une diminution relative symétrique de la surface totale d'échange thermique mise en œuvre, sans pour autant modifier le débit distillé et l'énergie consommée. La traduction économique d'une telle diminution est la différence entre les coûts d'acquisition et d'amortissement relativement élevés des plaques creuses d'échange thermique épargnées, à durée de vie relativement courte (moins de cinq ans), et les coûts semblables relativement faibles, de l'échangeur thermique compact utilisé qui, à la fois, bénéficie d'un faible coût de construction et d'une durée de vie particulièrement longue.

En conséquence, avec un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon ladite première forme de réalisation, qui utilise de grandes plaques d'échange thermique, du genre décrit dans ladite invention antérieure, et qui opère à des températures T_1 et T_3 optimales, en accord avec la présente invention, l'emploi d'un échangeur thermique compact à faible coût est particulièrement intéressante. En effet, ce type d'échangeur permet d'amener, pour un coût réduit, l'eau de mer froide entrant dans l'alambic, à prendre une température relativement élevée qui, après mélange, amène l'eau de mer entrant dans les plaques froides, à une température optimale plus élevée. Cette température optimale est obtenue en donnant par construction à l'échangeur utilisé un C_{OP} approprié. Ce résultat intermédiaire entraîne, pour un alambic de volume actif donné V , une efficacité de distillation améliorée, obtenue à des conditions économiques intéressantes, pour ce qui concerne le volume journalier de production d'eau douce.

La figure 4 représente le schéma d'un alambic à diffusion de vapeur, selon la deuxième forme de réalisation de l'invention, dans laquelle le sens de circulation du liquide caloporteur dans les plaques chaudes, est de bas en haut, à l'inverse de celui de la figure 3. En conséquence, les composants des deux blocs de distillation des figures 3 et 4 sont identiques, et le schéma est sensiblement symétrique de celui de la figure 3, leurs autres composants étant, quant à eux, identiques ou équivalents. Ils portent tous les mêmes références numériques, avec toutefois un signe prime additionnel (') pour ceux de la figure 4. Cela, afin de les différencier les uns des autres, les façons dont ils sont reliés ensemble étant différentes. L'entrée de la plaque creuse chaude 10' est reliée, par son raccord bas 11'a et un conduit 11', à la sortie de la chambre de chauffe 19' d'une chaudière 18', équipée d'un tube de chauffage 17'. La sortie de la plaque chaude 10' est reliée, par son raccord haut 11'b, à l'une des entrées d'un mélangeur 20' dont l'autre entrée est connectée à un réservoir 36' contenant de l'eau de mer à distiller. La sortie de ce mélangeur 20' est reliée à l'entrée de la plaque creuse froide 12', par un conduit 13'b. La sortie de cette plaque 12' est reliée, par son raccord bas 13'a, à l'entrée de la chambre de chauffe 19' de la chaudière 18'. La saumure et l'eau douce produites sont évacuées par des gouttières 30' et 32'.

Grâce à ces dispositions, les températures aux entrées et aux sorties des plaques chaudes 10' (T_1 , T_3) et froide 12' (T_4 , T_2) sont sensiblement identiques à celles que l'on peut avoir avec l'alambic selon la figure 3. Il en est de même, pour ce qui concerne le fonctionnement de la distillation effectuée. Quant à l'efficacité globale de cet alambic selon la figure 4, elle sera bien évidemment inférieure à celle de l'alambic selon la figure 3, puisque les températures de l'eau douce et de la saumure évacuées (proches de T_1 et T_2) sont très supérieures à celles (proches de T_3 et T_4) que l'on obtient dans le cas de la figure 3. Ce type d'alambic demeure cependant une seconde possibilité intéressante de mise en œuvre de l'un des procédés de distillation à liquide caloporteur selon l'invention, puisque cet inconvénient peut être aisément corrigé. En effet, il est simple de diminuer considérablement la température des liquides distillé et condensé à évacuer, au

moyen d'un échangeur thermique double (identique à celui référencé 22 sur la figure 3), dans lequel on fait circuler en sens inverse, afin de le réchauffer au mieux, le liquide à distiller à répandre sur les revêtements hydrophiles des plaques creuses.

5 La figure 5 est le schéma de principe d'un premier alambic à diffusion de vapeur utilisant de l'air, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme fluide caloporteur. Il présente la particularité de faire circuler l'air de haut en bas à l'intérieur de plaques creuses de distillation. Cet appareil constitue la troisième forme de réalisation d'un alambic selon l'invention.

Selon cette figure 5, les faces interne 50 et externe 52 de l'une des deux parois d'une grande plaque
10 creuse rectangulaire de distillation 54 bordent respectivement son volume intérieur 56 et l'espace libre 58 qui sépare deux plaques voisines. Cette plaque 54 représente symboliquement un bloc de distillation, à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, constitué par un nombre important N de plaques creuses de distillation, souples ou rigides, séparées par des espaces inter-plaques étroits. La face externe 52 de la paroi de la plaque 54 comporte un revêtement hydrophile 60. Au voisinage de ces premières N plaques creuses, est disposé un
15 nombre réduit n de plaques creuses auxiliaires de préchauffage du liquide à distiller. Elles sont semblables aux (N) plaques précédentes mais sans revêtement. Ces n plaques creuses auxiliaires sont symboliquement représentées par un tuyau 66, traversé par le liquide à distiller, qui occupe un espace 67, délimité par les faces internes des parois 62-64 d'une enveloppe 63. La majeure partie du courant d'air calo-porteur chaud entre dans l'extrémité haute 57 de la plaque creuse 54 et une petite partie, dans celle 68 de l'espace 67. Par
20 un passage 70, le bas de l'espace 67 communique directement avec la sortie de l'intérieur 56 de la plaque creuse 54. Le tuyau 66 est pourvu en bas d'une entrée 72 et en haut, d'une sortie 74. Un réservoir 76, contenant le liquide à distiller (eau saumâtre, par exemple), à la température T_{L1} , est installé au-dessus de l'alambic et, par gravité, il alimente cet alambic, à travers un robinet de réglage de débit 78 et un tuyau 77. Le liquide à distiller est tout d'abord introduit dans un échangeur thermique approprié 80, opérant à contre-
25 courant. Cet échangeur 80 comporte, dans une enveloppe 82, un élément actif monobloc 84. L'entrée de l'élément actif 84 est connectée au tuyau 77 amenant l'eau non potable à distiller et sa sortie reliée, par un autre tuyau 86, à l'entrée de l'enveloppe 87 d'un échangeur thermique compact 88, opérant à contre-courant. L'entrée de l'enveloppe 82 de l'échangeur thermique 80 est traversée par les courants d'air sortant des N plaques creuses de distillation 54 et des n plaques creuses auxiliaires de préchauffage 66 et à cet effet, cette
30 entrée est reliée à leur sortie commune 90. La sortie 81 de l'enveloppe 82 est reliée à l'amont de l'hélice d'un ventilateur 92, installée dans la partie basse 94 de l'espace inter-plaques 58. L'eau distillée, condensée sur les parois de l'élément actif 84 de l'échangeur thermique 80, s'accumule au fond de son enveloppe 82 et elle s'évacue par un conduit 83.

Au-dessus des N plaques creuses 54, est disposé en 96 un long plateau 98, recouvert d'un tapis
35 spongieux 100, (une épaisse couche de tissu hydrophile, par exemple), pourvu d'un fond percé de nombreux trous raccordés à des conduits de distribution 102, installés juste au-dessus des revêtements 60 de ces N plaques 54. Le conduit 104 de collecte de la saumure, qui s'écoule au bas des revêtements 60, débouche sur une gouttière d'évacuation 106. Le conduit 108 de collecte du mince film 110 d'eau distillée, qui ruisselle sur les faces internes 50 des parois des N plaques creuses 54, est rejoint par le conduit 112 de collecte de l'eau
40 distillée, condensée sur les parois extérieures du tuyau 66 symbolisant les n plaques creuses auxiliaires de préchauffage, avant d'être relié à l'entrée de l'élément actif monobloc 114 de l'échangeur thermique 88. La sortie 115 de cet élément 114 de même que la sortie 83 de l'enveloppe 82 débouchent sur une gouttière 116

d'évacuation de l'eau distillée. L'enveloppe 87 de l'échangeur thermique 88 est traversée par le liquide à distiller, sa sortie étant reliée à l'entrée 72 du tuyau 66, représentant les n plaques de préchauffage de ce liquide. La sortie 74 du tuyau 66 est reliée à l'entrée de la chambre de chauffe 118 d'une chaudière 120, pourvue d'une source chaude 122. La chambre de chauffe 118 possède un conduit de sortie 124 qui alimente
5 une tête d'arrosage 126, installée en long juste au-dessus du tapis spongieux 100 recouvrant le plateau 98. La température maximale, de l'eau saumâtre à distiller contenue dans la chambre de chauffe 118, est inférieure à sa température d'ébullition.

Grâce à ces dispositions, la source chaude 122, par exemple adaptée à fournir de l'eau saumâtre à une valeur maximale de 95°C, pour un débit donné d'entrée de cette eau, fixe une fois pour toutes par un réglage
10 approprié du robinet 78, régit l'ensemble du fonctionnement d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, en accord avec les caractéristiques nouvelles des procédés selon la présente invention. L'eau chaude, fournie par la chambre de chauffe 118 à une température de 95°C, tombe en pluie sur le tapis spongieux 100. Placée dans le courant d'air caloporteur sortant en haut 96 de l'espace inter-plaques 58, à une température T_2 (80°C, par exemple), notablement inférieure à celle de cette pluie et de l'eau imprégnant le
15 tissu 100, cette eau s'évapore en partie et se refroidit notablement, jusqu'à 87°C, par exemple. A travers les conduits de sortie 102, cette eau est répandue en haut des revêtements hydrophiles 60 des N plaques creuses de distillation 54. Le courant d'air caloporteur, qui a circulé à travers ladite pluie et le long du plateau 98 et de son tissu spongieux 100 imbibé d'eau chaude, s'est réchauffé jusqu'à $T_1 = 86^\circ\text{C}$ et, saturé en vapeur, il est introduit à l'intérieur des N plaques creuses 54 et autour du tuyau 66. Au cours de sa descente dans ces
20 plaques, la vapeur emportée par ce courant d'air se condense sur leurs faces internes, cependant que ce courant d'air se refroidit, que l'eau saumâtre qui s'écoule le long du revêtement 60 s'évapore en partie et que celle qui monte dans le tuyau 66 se réchauffe. Au bas des N plaques creuses de distillation 54, la température T_3 de l'air caloporteur est de 68°C et, au bas des n plaques creuses auxiliaires de préchauffage du liquide à distiller représentées par le tuyau 66, la température de cet air est de 42°C environ. A l'entrée de l'enveloppe
25 82 de l'échangeur thermique 80, la température du mélange est de 62°C environ.

Le liquide à distiller entre dans l'élément actif 84 de l'échangeur thermique 80, à une température T_{L1} de 25°C par exemple. Il y circule à contre-courant de l'air caloporteur. Avec un échangeur 80, à haut coefficient d'efficacité, au cours de sa traversée de l'élément 84, le liquide gagne 5°C cependant que le courant d'air caloporteur, qui a traversé l'enveloppe 82 perd 32°C pour se retrouver à une température T_4 de
30 30°C, à l'amont de l'hélice du ventilateur 92, installé au bas de l'espace inter-plaques 58. Pour éviter que le moteur électrique du ventilateur 92 ne se détériore sous l'action de l'air chaud saturé, ce moteur sera disposé à l'extérieur. Au cours de sa montée dans l'espace inter-plaques 58, le courant d'air caloporteur se réchauffe et arrive en haut 96 de cet espace à une température T_2 de 80°C. En sortie de l'élément actif 84, l'eau saumâtre est à une température T_{L2} de 30°C seulement, du fait des capacités calorifiques et des débits
35 massiques respectifs très différents des deux fluides concernés. Quant à la température T_{L3} de l'eau saumâtre en sortie de l'enveloppe 87, sa valeur sera d'environ 50°C. Les quatre températures T_1 à T_4 apparaissent sur la figure 2 : $T_1 = 86^\circ\text{C}$, $T_2 = 80^\circ\text{C}$, $T_3 = 68^\circ\text{C}$ et $T_4 = 30^\circ\text{C}$. Si l'échangeur 80 avait eu un coefficient d'efficacité inférieur et/ou si la température T_{L1} avait été plus élevée, la température T_4 aurait pu être 40°C au lieu de 30°C et, dans ce cas, la température T_3 qui en aurait découlé aurait été de 72°C au lieu de 68°C. L'efficacité
40 de la distillation alors effectuée aurait alors été diminuée puisque la troisième expression du C_{IE} est $k.(T_1 - T_3)$.

La saumure qui s'écoule du revêtement 60 des N plaques creuses de distillation 54 est à une température voisine de T_4 (30°C), c'est-à-dire à une température proche de celle (25°C) de l'eau saumâtre à

distiller. En conséquence, son évacuation est faite directement par le conduit 104 et la gouttière 106. En revanche, l'eau distillée à l'entrée de l'élément actif 114 de l'échangeur thermique à contre-courant 88 est à une température de 62°C environ, celle-là même de l'air caloporteur à l'entrée de l'enveloppe 82 de l'échangeur thermique 80. Il est donc tout à fait justifié de récupérer l'énergie thermique de cette eau distillée et de négliger celle emportée par la saumure. Comme le débit d'eau distillée à 62°C circulant dans l'élément actif 114 de l'échangeur thermique 88 est plus faible que celui de l'eau saumâtre à $T_{L2} = 30^\circ\text{C}$ qui traverse son enveloppe 87, la température T_{L3} de l'eau saumâtre qui en sort est seulement à environ 52°C. De son côté, l'eau saumâtre qui sort des n plaques creuses auxiliaires (tuyau 66) est à $T_{L4} = 75^\circ\text{C}$, soit 11°C de moins que la température T_1 de l'air chaud saturé, à l'entrée de l'espace 67. L'eau saumâtre à 75°C qui entre dans la chambre de chauffe 118 de la chaudière 120 y gagne 20°C.

Le rapport entre la surface totale des N plaques de distillation 54 et celle des n plaques auxiliaires symbolisées par le tuyau 66 est de six à dix environ et les échangeurs thermiques 80 et 88 seront, par construction, adaptés aux résultats recherchés. Comme cela a été indiqué plus haut, la valeur optimale de la variable composite $t.dH/V$ sera relativement élevée, lorsque la chaudière 120 sera alimentée par une énergie thermique gratuite (chaudière solaire ou eau de refroidissement d'un moteur thermique, par exemple).

La figure 6 est le schéma de principe d'un second alambic à diffusion de vapeur utilisant de l'air, saturé en vapeur du liquide à distiller, comme fluide caloporteur. Cet appareil présente la particularité de faire circuler le courant d'air caloporteur de bas en haut à l'intérieur des plaques creuses, à l'inverse de celui de la figure 5. En conséquence, les composants des deux blocs de distillation sont identiques et ce schéma est sensiblement symétrique de celui de la figure 5, plusieurs de leurs autres composants étant identiques ou équivalents. Tous portent les mêmes références numériques, avec toutefois un signe prime additionnel (') pour ceux de la figure 6. Cela, afin de les différencier les uns des autres, les façons dont ils sont reliés ensemble étant différentes. Cet appareil constitue la quatrième forme de réalisation d'un alambic selon l'invention.

Selon la figure 6, dans une chambre de traitement calorifugée 48', représentée par un cadre en traits pleins, une paroi 54' d'une plaque creuse, mince et souple, possédant un espace interne 56' et un espace inter-plaques 58' entre deux plaques contiguës, est dessinée. Pour simplifier le dessin, ces deux espaces 56' et 58' sont limités par les traits définissant la chambre 48'. L'ensemble représente symboliquement un bloc de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur circulant par convection naturelle. Chaque plaque creuse comporte deux parois 54', deux faces internes nues 50' et deux faces externes 52' pourvues d'un revêtement hydrophile 60', ainsi qu'une entrée 57', située dans sa partie basse, et une sortie 55', située dans sa partie haute. Les entrées 57' des plaques creuses dudit ensemble sont reliées, par une cheminée basse 59', de hauteur appropriée, à un générateur d'air chaud saturé, décrit ci-après. Les sorties 55' des plaques creuses débouchent dans un large espace 79', de hauteur appropriée, occupé par un élément actif monobloc 84' d'échange thermique. Cet espace 79' constitue la cheminée haute de la chambre de traitement 48' de l'alambic. Il se prolonge au-delà de l'élément actif 84' par un autre espace large 81' qui aboutit au-dessus des entrées 94' des espaces inter-plaques 58' dudit ensemble. La sortie 96' de l'espace inter-plaques 58' débouche sur un large espace collecteur 83'.

Un réservoir 76', contenant par exemple de l'eau de mer à distiller, est installé à une distance appropriée au-dessus de la chambre de traitement 48' pour alimenter par gravité, à travers un tuyau 77' et un robinet 78', l'élément actif monobloc 84' d'échange thermique. La sortie de cet élément 84' est reliée par un tuyau 86' à des becs verseurs 102', disposés juste au-dessus des bords supérieurs des parois des plaques

creuses 54' dudit ensemble et de leurs revêtements hydrophiles 60'. La saumure qui descend le long des revêtements 60' aboutit dans une unique gouttière de collecte 103', reliée par un tuyau 104' à une autre gouttière 105', destinée à alimenter en saumure une chaudière solaire particulière 120'. Cette chaudière solaire 120' est adaptée à évaporer une partie de cette saumure et à diffuser sa vapeur dans un courant d'air, afin de constituer ledit générateur d'air chaud saturé. A cet effet, le fond de la chambre de chauffe 118' de cette chaudière 120' est constitué par une nappe noire 122' en matériau composite (par exemple, film de polymère ou feuille de métal oxydé à face arrière isolée, d'un côté, et non tissé de cellulose ou de polymère, de l'autre), imperméable et inaltérable du côté noir et plus ou moins hydrophile de l'autre. Cette nappe 122', est installée sur une grille rigide et sa face noire, exposée en oblique au rayonnement solaire (S) en accord avec la latitude du lieu, est protégée de l'air ambiant par une paroi transparente 119'. Ce qui transforme en serre cette chambre de chauffe 118'. Le bord supérieur de la nappe 122', à revêtement hydrophile, forme un pan libre qui plonge dans la gouttière d'alimentation 105'. Les entrées 57' des plaques creuses sont disposées juste au-dessus du tuyau 104' et du bord supérieur de la nappe chauffante 122' et de son tapis hydrophile mince, constamment humidifié par capillarité et gravité. Un réservoir 63', disposé sous la nappe chauffante 122', occupe une grande partie du fond de la chambre de traitement 48'. Au-dessus de la partie amont de ce réservoir 63' est installé un bloc isolant 65' qui, d'une part, sépare les sorties 96' des espaces inter-plaques 58' des entrées 57' des intérieurs 56' des plaques creuses et, d'autre part, délimite un passage 99' constituant l'entrée de la cheminée basse 59' de la chambre de traitement 48' de l'alambic. Ce réservoir 63' est destiné à recueillir la saumure qui s'écoule du revêtement hydrophile de la nappe 122'. Le réservoir 63' comporte un tuyau de vidange 128', pourvu d'un robinet 130' disposé en amont d'une gouttière 106' d'évacuation de la saumure, tous deux installés à l'extérieur de la chambre 48'. L'eau distillée, qui s'est condensée en un film 110' sur les faces internes 50' des parois 54' des différentes plaques creuses, est collectée dans une unique gouttière 109', elle-même reliée par un tuyau 115' à une gouttière d'évacuation 116', installée à l'extérieur de la chambre 48'. Quant à l'eau distillée, condensée sur les faces externes de l'élément actif d'échange thermique 84', elle est recueillie dans une gouttière 111' reliée par un conduit 112' qui débouche au sommet d'un tube vertical 113', ouvert à l'air libre, aboutissant à la gouttière d'évacuation 116'.

Grâce à ces dispositions, dans le circuit en boucle fermée ainsi formé, la face noire de la nappe 122', installée au fond de la serre 118', absorbe le rayonnement solaire (S), chauffe la saumure qui imprègne le tapis hydrophile mince de son autre face, évapore une partie de son eau et diffuse la vapeur produite dans l'air qui l'entoure. De la sorte, cet air est ainsi progressivement réchauffé et maintenu saturé et il devient, par convection naturelle, un courant d'air chaud saturé qui traverse la cheminée basse 59' puis pénètre dans les intérieurs 56' des plaques creuses, par leurs entrées 57', et ensuite il circule de bas en haut dans ces plaques creuses verticales puis dans la cheminée haute 79' et le long des faces externes de l'élément actif monobloc d'échange thermique 84'. Cet élément 84' d'échange thermique est parcouru par le débit d'eau de mer à distiller entrant dans l'alambic. En longeant les parois de cet élément 84', le courant d'air se refroidit puis il descend par gravité dans l'espace 81', les espaces inter-plaques 58' et le passage 99' puis, soumis au tirage engendré par la nappe chauffante 122', il balaie la surface de la saumure chaude contenue dans le réservoir 63' et celle de la face hydrophile constamment humidifiée de la nappe 122', qui trempe dans la gouttière d'alimentation 105', bouclant ainsi en circuit fermé le trajet parcouru. La hauteur, qui sépare le bord inférieur de la nappe chauffante 122' du bord amont de l'élément d'échange thermique 84', doit être relativement importante. Elle est ajustée une fois pour toutes par réglage des hauteurs des cheminées basse et haute 59' et 79'. Cela, afin que soit suffisamment importante (20 à 50 cm/s) la vitesse v de circulation ascendante du

courant d'air caloporteur, à l'intérieur 56' de chaque plaque creuse. Dans ces conditions, compte-tenu de l'écart local de flux d'enthalpie par unité de volume actif dH/V des plaques creuses, engendré par la chaudière 120' entre l'entrée 57' des intérieurs 56' des plaques creuses et la sortie 96' des espaces inter-plaques 58', une valeur optimale possible du temps de transit t de ce courant dans les plaques creuses peut être déterminée. Cela est fait, à partir de la plage optimale des valeurs de la variable composite $t.dH/V$ arbitrairement délimitée par les valeurs de C_{IE} supérieures à $84 \text{ m}^3/\text{jour.m}^3$, à savoir 200 à 740 kilojoules par mètre cube (voir courbe B₂ de la figure 2). La hauteur des plaques de distillation et celles des cheminées basse et haute sont choisies en même temps, compte-tenu de la valeur maximale de la température T_1 (qui doit rester comprise dans la plage concernée de ses valeurs optimales ou simplement efficaces) du courant d'air circulant par convection naturelle, que peut produire la chaudière solaire 120'.

Au niveau des entrées 57' des plaques creuses, la température T_1 du courant d'air est limitée du fait de la chaudière solaire sans réflecteur utilisée, mais cette température demeure dans sa plage optimale, soit à peu près entre 70 et 80°C, au moins lorsque le soleil culmine. En traversant l'espace occupé par l'élément actif 84' d'échange thermique, parcouru par l'eau de mer entrant à une température de 25°C, le courant d'air qui sort des plaques creuses à une température T_3 proche de 68°C est refroidi et sa température tombe à une valeur optimale T_4 très basse, à savoir environ 30°C, lorsque l'efficacité de l'élément actif monobloc 84' est appropriée.

Le tuyau de sortie 86' de l'élément actif 84' de l'échangeur thermique 80' alimente les becs verseurs 102' en eau de mer à une température de 50°C environ. Cette eau de mer tiède ainsi déversée sur les revêtements 60' descend lentement le long des faces externes 52' des parois 54' des plaques creuses. En conséquence, la vapeur d'eau emportée par le courant d'air chaud saturé, qui monte à l'intérieur 56' des plaques creuses, se condense sur les faces internes 50' des parois de ces plaques et forme un mince film d'eau distillée 110'. Pendant la descente de l'eau de mer dans les revêtements 60', cette eau de mer se réchauffe, sous l'action de la chaleur latente de condensation récupérée à travers les parois 54' des plaques creuses. De ce fait, cette eau s'évapore en partie et la vapeur produite diffuse dans le courant d'air refroidi, qui descend dans les espaces inter-plaques 58', et ainsi réchauffe progressivement ce courant. A la sortie de ces espaces inter-plaques, la température de ce courant d'air atteint une valeur T_2 d'environ 78°C. Quant à la saumure, recueillie en bas des revêtements hydrophiles 60' des parois 54' des plaques creuses, sa température est aussi d'environ 78°C. Cette saumure collectée par la gouttière 103' est amenée par le conduit 104', dans la gouttière 105' d'alimentation, par capillarité et gravité, du revêtement arrière hydrophile de la nappe 122' à face avant noire, installée au fond de la chambre de chauffe 118' de la chaudière solaire particulière 120'. La température maximale de cette nappe chauffante 122' et de la saumure que contient son revêtement est au plus de 85°C (une telle chaudière solaire sans réflecteur ne permet guère d'atteindre une température supérieure). Une petite partie de l'eau de cette saumure s'évapore et le reste s'écoule lentement dans le réservoir 63', qui peu à peu se remplit ainsi d'une saumure un peu plus concentrée, dont la température est d'environ 82°C, destinée à être évacuée. La vapeur ainsi produite à la surface du revêtement hydrophile de la nappe chauffante 122' est emportée par le courant d'air qui a débouché des espaces inter-plaques 58' puis balayé la surface de la saumure chaude contenue dans le réservoir 63' et, avec environ un degré ainsi gagné, pénétré avec une température d'un peu plus de 78°C, au pied du revêtement chaud constamment humidifié de la nappe 122', le long duquel il se réchauffe et se sature à nouveau.

On notera que l'on peut directement répandre l'eau de mer du réservoir sur le revêtement 60' en lieu et place de l'eau de mer tiède sortant de l'échangeur thermique 84'. Dans ce cas, cette eau tiède est directement

évacuée. Les températures T_4 et T_2 en sont légèrement affectées mais le fonctionnement général et les performances de l'ensemble n'en sont guère modifiés.

L'intérêt de cet alambic à diffusion de vapeur et à courant d'air caloporteur circulant de bas en haut dans les plaques creuses, est multiple si on le compare à l'alambic de la figure 5, dans lequel le courant d'air caloporteur circule de haut en bas à l'intérieur de ces plaques. Le premier avantage réside dans le fait qu'aucun propulseur (ventilateur ou jet de vapeur) n'est nécessaire pour assurer la circulation de ce courant d'air, puisque cette circulation est ici engendrée par convection naturelle. Le deuxième avantage vient de ce que la température de la source chaude peut être comprise entre à peu près 75 et 85°C et cependant demeurer efficace puisque susceptible d'assurer, à l'entrée des plaques creuses, une température T_1 qui soit encore optimale ou simplement efficace. Cela a pour conséquence directe d'ajouter un troisième avantage, à savoir rendre une chaudière solaire sans réflecteur, parfaitement adaptée à un tel alambic. Un quatrième avantage réside dans l'absence totale de pièces mobiles fonctionnant en permanence. Ce qui constitue un avantage particulièrement intéressant (suppression de toute maintenance généralement nécessitée par de telles pièces) dans tous les cas où ce type d'alambic est utilisé dans un environnement non industriel. Un cinquième avantage apparaît dans le fait qu'un très important coefficient de performance COP de l'alambic peut en principe être obtenu, puisque l'accroissement de température de la saumure, amené par la chaudière, peut être très faible ($< 2^\circ C$). Dans l'alambic selon cette figure 6, les températures de la saumure et de l'eau distillée à évacuer sont élevées (environ 82°C), mais on décrira plus loin, en commentaire de la figure 13, comment il est possible de récupérer cette énergie thermique pour diffuser un supplément de vapeur dans le courant d'air caloporteur et ainsi augmenter considérablement le COP de l'appareil. Un sixième avantage provient de l'accroissement considérable du CIE , énoncé plus haut, qui découle de la très faible épaisseur de paroi et de revêtement hydrophile, que présente le nouveau type de plaque creuse mince, à parois planes, souples et très fines, décrit ci-après à la figure 13. Les commentaires, qui accompagnent cette figure 13, concernent une forme de réalisation réelle d'un alambic à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, circulant en circuit fermé par convection naturelle. Ils confirmeront, par le faible coût de fabrication de cette nouvelle plaque creuse de distillation, l'intérêt particulièrement grand de cette dernière forme de réalisation de l'invention.

On notera qu'avec un tel alambic à chaudière solaire, il est possible de produire de l'eau douce après la fin de l'ensoleillement efficace du lieu d'installation. Cela nécessite tout d'abord de disposer d'un réservoir bien calorifugé et, par ailleurs, suffisamment profond pour pouvoir contenir au moins toute la saumure, produite au cours de la durée d'ensoleillement d'une journée. En maintenant fermé le robinet de vidange après le coucher du soleil et en diminuant (de moitié par exemple) le débit de l'eau de mer entrant, par action sur le robinet, on peut prolonger la production d'eau douce de cet alambic solaire jusque tard dans la nuit et augmenter ainsi d'environ 20% la production de la journée. Ce résultat est obtenu grâce, au réchauffement et à la saturation complémentaires apportés au courant d'air qui balaye la surface de la masse importante de saumure chaude, contenue dans le réservoir en fin de journée et constamment réalimentée par une saumure dont la température est de peu inférieure à la sienne. Au fur et à mesure que la température de cette saumure baissera, le débit d'eau distillée fera de même jusqu'à se terminer en goutte à goutte. La remise en marche normale de l'alambic se fera le matin et comprendra simplement la vidange du réservoir, en ouvrant un moment le robinet prévu à cet effet, et en redonnant au débit d'eau de mer entrant sa valeur de jour (laquelle dépendra en général de l'intensité maximale du rayonnement solaire à prévoir pour la journée). Dans

ces conditions, la température de la saumure évacuée le matin est relativement basse et le Cop global de même que le Cie global d'un tel alambic solaire en sont notablement améliorés.

La figure 7 représente schématiquement trois grandes plaques creuses souples, pourvues de leur encadrement et de leur rondelles de raccordement. La figure 8 représente une vue en coupe longitudinale de l'un des quatre dispositifs d'alimentation d'un nombre important (6, dans le dessin) de grandes plaques rectangulaires creuses de rang pair ou impair, assurant des échanges thermiques dans un alambic, selon l'invention, qui fonctionne avec un fluide caloporteur liquide. Quant à la figure 9, elle représente le dispositif assurant la répartition du liquide chaud à distiller, sur les revêtements hydrophiles des seules plaques affectées à l'évaporation de ce liquide, lorsque le fluide caloporteur est un liquide.

Selon la figure 7, chaque plaque rectangulaire souple $140_{1,2,3}$ qui mesure par exemple, 120 cm de haut et 100 cm de large, est réalisée à partir d'une feuille mince (notamment, en polypropylène), pourvue d'un revêtement hydrophile soudé (notamment, un non-tissé de cellulose, représenté en pointillés), pliée en deux, le pli constituant le bord supérieur de chaque plaque.

Lorsque les plaques $140_{1,2,3}$ sont du type souple, des ensembles de lignes de soudure parallèles (jusqu'à 50) sont formés, qui définissent les conduits intérieurs $142_{1,2,3}$ de ces plaques, lesquels ont par exemple de 15 à 20 mm de large et 80 cm de long. En haut et en bas de ces ensembles de conduits parallèles $142_{1,2,3}$, deux lignes de soudure obliques $144_{1,2,3}$ et $146_{1,2,3}$, inclinées et parallèles, sont réalisées, qui définissent respectivement un canal commun haut $148_{1,2,3}$ et un canal commun bas $163_{1,2,3}$ tous deux en forme de trapèze. La partie de chaque plaque $140_{1,2,3}$, située au-dessus de la ligne oblique $144_{1,2,3}$, constitue un fourreau $150_{1,2,3}$, dont les deux extrémités sont coupées, pour laisser place à une grande et une petite découpes $152_{1,2,3}$ et $153_{1,2,3}$. De part et d'autre des ensembles $142_{1,2,3}$ de lignes parallèles, sont réalisées deux lignes de soudure $154_{1,2,3}$ et $156_{1,2,3}$, parallèles aux précédentes, qui constituent les bords extérieurs de chaque plaque $140_{1,2,3}$. Ces mêmes lignes 154-156, en coopération avec la ligne extérieure, prolongée par ses deux bouts, qui borde le premier et le dernier conduit de chaque plaque, délimitent deux fourreaux verticaux $158_{1,2,3}$ et $160_{1,2,3}$, d'environ 4 cm de large, sur toute la hauteur des éléments. De telles plaques souples possèdent des parois ondulées.

Les deux pans de paroi $162_{1,2,3}$, situés en dessous de la ligne oblique basse $146_{1,2,3}$ de chaque plaque, sont repliés vers le haut pour constituer, avec la paroi extérieure de son canal commun bas $163_{1,2,3}$, deux chaussons de collecte des liquides qui ont suinté dans les revêtements hydrophiles des deux parois des plaques $140_{1,2,3}$. Une gouttière (non représentée) est disposée sous les extrémités basses des deux chaussons de collecte de chaque plaque, de sorte que, du fait des orientations opposées des chaussons de deux plaques contiguës, l'une des gouttières récoltera le liquide qui s'écoule des plaques froides de rang impair et l'autre, celui des plaques chaudes de rang pair.

Chaque plaque $140_{1,2,3}$ dispose d'un encadrement semi-rigide qui comprend deux tringles horizontales et deux lames verticales, toutes deux en acier, par exemple, ou en un polymère armé à haute résistance mécanique. Les tringles ont une section en U, l'une haute $164_{1,2,3}$ en U renversé, pour la suspension de la plaque et l'autre basse $166_{1,2,3}$ en U droit, pour lui donner une tension longitudinale et compléter l'encadrement. A titre d'exemple, l'épaisseur externe de ces tringles est de 3 mm, leur hauteur de 10 mm et leur épaisseur de paroi de 1 mm. Les extrémités de ces tringles comportent, en retrait sur leurs flancs, deux redents (non représentés). Les ouvertures des tringles en U renversé $164_{1,2,3}$ sont engagées sur les extrémités de lames verticales $168_{1,2,3}$ et $170_{1,2,3}$, à bords arrondis, ayant 3,5 cm de large et 1 mm d'épaisseur.

L'écartement de ces lames est imposé par celui des butées constituées par les redents des tringles. Les tringles 164_{1,2,3} ainsi que les lames 168_{1,2,3} et 170_{1,2,3} sont respectivement engagées dans les fourreaux horizontaux 150_{1,2,3} et verticaux 158_{1,2,3} et 160_{1,2,3}. L'écartement de ces lames, qui est maintenu fixe par les tringles en U 164-166, détermine la tension transversale initiale des plaques souples 140_{1,2,3}.

5 Dans le cas où des panneaux alvéolaires rigides seraient utilisés en lieu et place des plaques souples, des feuilles minces à revêtement hydrophile, identiques à celles utilisées pour les plaques souples, seront préalablement collées puis soudées sur ces panneaux, par des lignes de soudure semblables, mais plus écartées, à celles réalisant les ensembles de conduits 142_{1,2,3}, afin d'assurer la fiabilité de l'ensemble ainsi constitué. Cette opération de soudure est sensiblement identique à celle réalisée pour fabriquer les plaques
10 souples, laquelle consiste à presser pendant quelques secondes les éléments à souder entre deux plateaux métalliques épais, pourvus de surfaces rectifiées puis usinées selon les lignes de soudures à réaliser, ces plateaux étant portés à une température adéquate, définie par le point de fusion du polymère utilisé. Dans les deux cas, les bords des fourreaux des tringles et des lames sont soudés cependant que sont marqués les bords des découpes d'extrémité des fourreaux horizontaux et les emplacements exacts des rondelles de
15 raccordement, présentées ci-après, à mettre en place dans une étape ultérieure du processus de fabrication des plaques souples ou rigides. Chaque plaque 140_{1,2,3} comporte, dans les coins larges, diagonalement opposés, de ses canaux communs hauts 148_{1,2,3} et bas 163_{1,2,3} des rondelles 172_{1,2,3} et 174_{1,2,3} d'alimentation de ces canaux communs. Ces rondelles et ces canaux communs coopèrent pour assurer la répartition ou la récupération du fluide caloporteur entrant dans ou sortant de ces conduits. Les lignes en pointillés, qui relient
20 ces rondelles sur la figure 7, représentent l'emplacement des dispositifs d'alimentation des ensembles pairs ou impairs (illustrés à la figure 8), qui traversent les grandes découpes 152_{1,2,3} des fourreaux 150_{1,2,3}. De telles plaques alvéolaires rigides possèdent des parois planes.

Selon la figure 8, le dispositif d'alimentation de six plaques creuses de rang pair ou impair comprend un empilement de six rondelles 172₁₋₆, associé à un raccord 180 en forme de T, comprenant un premier tuyau
25 182, coaxial à ces rondelles, et un second à angle droit, 184. Cet empilement et ce raccord sont maintenus en place par un tirant d'assemblage 186. Chacune des rondelles 172₁₋₆ est un anneau qui mesure, par exemple, environ 17 mm d'épaisseur et 4 cm de diamètre intérieur, dans le cas de plaques creuses d'un m² prévues pour un alambic à contre-courant d'eau. Chaque anneau est pourvu, dans sa partie centrale, d'un rebord circulaire 188₁₋₆, dont les faces latérales sont soudées aux faces internes des parois 190₁₋₆ et 191₁₋₆ d'une
30 plaque 140₁₋₆ (voir fig.5) et dont l'épaisseur est sensiblement égale à l'épaisseur interne de ces plaques, soit environ 2 à 3 mm. Le bord aval de l'anneau de chaque rondelle 172₁₋₆ comporte un épaulement externe 171₁₋₆ et son bord amont, un épaulement interne 173₁₋₆. Dans le rebord circulaire 188₁₋₆ de chaque rondelle 172₁₋₆ sont percés plusieurs trous horizontaux, tels 192, de 3,5 à 4 mm de diamètre (8 trous, selon le dessin) qui, d'un côté, débouchent à l'intérieur de la rondelle et de l'autre, à l'intérieur et dans le sens de la longueur du
35 canal commun en forme de trapèze 148₁₋₆ (voir fig.5) qui alimente les ensembles de conduits 142₁₋₆ d'une plaque 140₁₋₆.

Le tirant d'assemblage 186 comprend (1) une base d'appui 194, pourvue d'un épaulement interne 195, adapté à coopérer avec l'épaulement externe 171₁ de la rondelle aval 172₁, (2) une tige tronconique 196, dont la longueur est déterminée par le nombre de rondelles 172 à empiler (une centaine, le cas échéant) et (3) une
40 extrémité cylindrique filetée 198. Le tuyau 182 du raccord 180 comporte, soudés et/ou collés à ses deux extrémités, des appuis respectivement constitués par une coupelle 200, percée en son centre et un anneau 202, pourvu d'un épaulement externe 203, adapté à coopérer avec l'épaulement interne 173₆ de la rondelle

amont 172₆. La coupelle d'appui 200 est adaptée à coulisser sur l'extrémité 198 du tirant d'assemblage 186. Cette extrémité 198 comporte un logement pour un joint torique d'étanchéité 204. Un écrou 208, engagé sur l'extrémité filetée 198 du tirant 186, permet de maintenir serrées les rondelles 172₁₋₆ et de transformer leur empilement en un conduit sans fuites, pour l'alimentation des plaques creuses 140₁₋₆. Entre les faces internes 5 191_{1,3,5} et 190_{2,4,6} des parois de plaques contiguës, qui sont soudées aux rebords circulaires 188₁₋₆ des rondelles 172₁₋₆, apparaissent en 193₁₋₅, sur la figure 8, les extrémités hautes des lignes de soudure 144 (voir fig.7) des plaques de rang impair intercalées.

La figure 9 représente, en coupe transversale, la partie supérieure d'un ensemble de neuf plaques souples, comprenant cinq plaques froides de rang impair 140_{1,3,5,7,9} et quatre plaques chaudes de rang pair 10 140_{2,4,6,8}, alternativement disposées dans un alambic à diffusion de vapeur, utilisant le liquide à distiller comme fluide caloporteur. Ces plaques souples sont suspendues à neuf tringles en U renversé 164₁₋₉, engagées dans des fourreaux 150₁₋₉, en forme de trapèze, délimités par des lignes de soudure obliques 144₁₋₉. Sur cette figure 9, les parois minces 210₁₋₉, en polymère (notamment en polypropylène) des plaques 140₁₋₉ ainsi que leurs revêtements hydrophiles 212₁₋₉, apparaissent clairement. Entre deux plaques contiguës, telles 15 140₁ et 140₂ ou 140₈ et 140₉, sont disposés des plaquettes intercalaires 214₁₋₆, de préférence alvéolaires, qui descendent jusqu'au sommet des ensembles de conduits 142₁₋₉ (voir fig.7) des plaques 140₁₋₉. La longueur de ces plaquettes 214₁₋₉ égale la largeur maximale des fourreaux 150₁₋₉ des tringles de suspension 164₁₋₉ des plaques 140₁₋₉. La tranche supérieure de chacune des plaques froides 140_{3,5,7,9} ainsi que les deux plaquettes intercalaires, telles 214₂ et 214₃, qui les bordent, est recouverte d'une cape imperméable, telles 216_{3,5,7} qui 20 descend jusqu'au bord inférieur de ces plaquettes. Cette cape imperméable est réalisée au moyen d'une feuille imperméable à revêtement hydrophile, identique au matériau constituant les plaques souples, son revêtement hydrophile 217_{3,5,7} étant en contact avec celui 212_{2,4,6,8} des plaques de rang pair 140_{2,4,6,8}. Les plaquettes intercalaires d'extrémité 214₁ et 214₆, d'un ensemble de plaques 140₁₋₉, sont séparées de la plaque 140₂ pour l'une et de la plaque 140₈ pour l'autre, par une feuille imperméable à revêtement hydrophile 218 et 25 220. Ces feuilles coopèrent avec deux réglettes 222 et 224, faisant office de butées d'appui, pour constituer les bords imperméables d'un tapis hydrophile 226, en contact avec la tranche supérieure du revêtement hydrophile de chacune des plaques chaudes 140_{2,4,6,8} et du revêtement hydrophile des capes 216_{3,5,7} de protection des plaques froides. Ce tapis hydrophile 226 est, par exemple, constitué de plusieurs couches de tissu de coton. Au-dessus de ce tapis, sont installés de place en place, des bords verseurs, tel 228, adaptés à 30 déverser sur lui le liquide chaud à distiller. Entre les pans 162₁₋₉ qui forment les chaussons de collecte des liquides qui s'écoulent des parois extérieures des plaques 140₁₋₉, (voir fig.7) sont disposées des paquettes intercalaires (non représentées), identiques à celles 214₁₋₆ placées entre les sommets de ces mêmes plaques. Pour constituer un alambic, l'ensemble compact formé par l'assemblage de N plaques creuses 140_{1-N} est maintenu resserré, grâce à des moyens de serrage conventionnels, non représentés, disposés tout autour.

35 Grâce aux dispositions selon les figures 7, 8 et 9 présentées ci-dessus, les plaques creuses de distillation des alambics à diffusion de vapeur selon les figures 3 et 4 opèrent dans les meilleures conditions (le cas des plaques creuses de distillation d'un alambic, selon les figures 5 et 6, sera traité en détail ci-après, en commentaires de la figure 13). Sous la pression du liquide caloporteur, les conduits d'une plaque souple, de même que les canaux communs de distribution et de récupération de ce liquide caloporteur dans des 40 plaques souples ou rigides, conservent des épaisseurs correctes. Grâce aux lames verticales latérales, à espacement fixe, les conduits des plaques souples ne peuvent prendre qu'une épaisseur interne limitée, d'environ 2 à 3 mm, en réponse à la pression exercée par le liquide caloporteur qui y circule. De plus, grâce

aux plaquettes intercalaires et aux moyens de serrage visés ci-dessus, les canaux communs hauts 148 et bas 163 sont eux-mêmes empêchés d'enfler sous cette même pression. Dans ces conditions, l'épaisseur de l'espace libre entre les plaques 140 est maintenu à une valeur correcte, à savoir environ 5 mm.

Quant au pas d'assemblage de ces plaques 140, il égale la moitié de la distance séparant les épaulements internes et externes des rondelles de raccordement 172₁₋₉, soit 8,5 mm. Pour ce qui est de ces rondelles, on notera que leur empilement, sous l'action du tirant d'assemblage 186, est réalisé d'une manière étanche, ce qui en fait une canalisation sans fuite, de longueur modulable. Par ailleurs, les trous 192 permettent, sans perte de charge notable, de faire entrer ou sortir le fluide caloporteur dans les canaux communs hauts ou bas de chaque plaque creuse.

Grâce aux dispositions selon la figure 9, dans un alambic à liquide caloporteur, les revêtements des plaques chaudes, affectées à l'évaporation du liquide chaud à distiller, sont les seules à être susceptibles d'être mouillées par ce liquide. En effet, grâce aux capes imperméables 216 qui recouvrent les sommets des plaques froides ainsi que leurs deux plaquettes de séparation associées 214, le liquide chaud à distiller ne peut les atteindre, cependant que, sous l'action du revêtement hydrophile de ces mêmes capes, ce liquide chaud, qui traverse le tapis hydrophile de répartition 226 est amené, par gravité et capillarité, jusqu'aux revêtements hydrophiles de l'ensemble des plaques chaudes.

La figure 10 représente en A-B, des vues de profil et de dessus d'un échangeur thermique compact à faible coût et en C-D, des coupes transversales de cet échangeur et de l'ébauche de son élément actif monobloc. Selon les figures 10A et 10C, l'échangeur thermique compact 250 comprend une enveloppe 252 qui entoure complètement un élément actif d'échange 254. Cet élément actif 254 est constitué par l'empilement d'un nombre relativement élevé (jusqu'à trente, par exemple) de paires de plaques creuses 256 a-b, à la fois allongées, symétriques et communicantes. Selon la coupe 10C, la section transversale de l'élément actif 254 a la forme d'une colonne vertébrale de poisson, pourvue d'arêtes creuses 256 a-b, obliques et parallèles entre elles, qui se partagent un canal central commun 258. L'épaisseur interne de ces arêtes 256, de leur écart de séparation 260 et de leur canal central commun 258 est faible et sensiblement identique (2 mm, par exemple). L'épaisseur des parois de l'élément actif 254 est mince (0,5 mm, par exemple).

Chaque plaque creuse 256 a-b de l'élément actif 254 comporte une partie centrale rectiligne dont la longueur peut varier de 30 à 100 cm environ et la largeur de 5 à 15 cm environ. Une plaque creuse 256a est reliée à sa plaque symétrique 256b par deux raccords d'extrémités creux 262-264, en forme de demi troncs de cône. Les axes d'empilement de ces demi-troncs de cône coïncident avec les axes des deux collecteurs qui alimentent les différentes paires de plaques creuses empilées 256 a-b et ils aboutissent aux deux tubulures de raccordement 266-268 de l'élément actif 254.

L'enveloppe 252 est représentée transparente pour les besoins du dessin de la figure 10A. Elle est formée de deux demi coquilles 251-253, à fonds respectivement convexe et concave, assemblées d'une manière étanche (soudure, collage ou joint d'étanchéité) par leurs rebords d'assemblage 255 a-b et 257 a-b. L'écart entre l'enveloppe 252 et les bords des plaques 256 de l'élément actif 254 est faible (de 1 mm, par exemple) mais il est nul le long de la crête 270 de sa paroi convexe et le long du creux 272 de sa paroi concave. L'enveloppe 252 possède deux tubulures de raccordement coaxiales 274-276 et deux ouvertures latérales au travers desquelles passent les tubulures de raccordement 266-268 de l'élément actif 254, les bords de ces ouvertures étant soudés, collés ou assemblés avec joint d'étanchéité, à l'emplanture de ces deux tubulures 266-268.

La figure 10D représente la coupe transversale de l'ébauche thermo-soufflée 276, à partir de laquelle l'élément actif d'échange thermique 254 a été fabriqué. Cette ébauche 276 comprend un empilement de soufflets biconvexes relativement longs 278, pourvus de raccords d'extrémités relativement courts (voir fig. 10A) en forme de demi troncs de cône symétriques. L'empilement des soufflets 278 est comparable à un accordéon dont les soufflets auraient des crêtes arasées 280 et des fonds étroits 282, avec des profondeurs de soufflets suffisamment importantes devant le grand diamètre des demi-cônes d'extrémités, pour permettre à ces derniers de constituer des surfaces retournables, impliquant un flambage de transition au cours de leur retournement. La transformation de l'ébauche 276 en un élément actif 254 est effectuée sous l'action d'une force axiale de compression contrôlée. Cette force a pour effet d'amener chacun des deux flancs symétriques de chaque demi soufflet convexe à passer d'un état stable à un autre, en devenant parallèle à l'un des deux flancs symétriques de chaque demi soufflet concave qui lui est associé. Dans le cas d'un élément actif en verre, la transformation des soufflets de l'ébauche en plaquettes parallèles se fera à une température particulière donnant au verre utilisé une souplesse et une élasticité adéquates. On notera que l'écrasement des soufflets de telles ébauches en polymère ou en verre peut être fait sans basculement de l'une des parois des raccords creux d'extrémité et qu'un échangeur thermique monobloc efficace est cependant réalisé, comme cela est enseigné dans la demande PCT concernée, visée plus haut.

L'ébauche 276 permet de réaliser un élément actif d'échange thermique classique. Pour un échangeur thermique devant évaporer le liquide à distiller, en accord avec ladite invention antérieure, les parois d'une ébauche 276 en polymère sont pourvues d'un revêtement hydrophile mince 284, de préférence préformé, ayant par exemple 0,1 mm d'épaisseur. Dans ce cas, l'ébauche 276 sera, à nouveau, fabriquée par thermo-soufflage d'un manchon en polymère pâteux, de forme aplatie, produit par une extrudeuse, puis introduit dans un moule comportant de multiples rainures parallèles, préalablement garnies du revêtement 284. Dans le cas d'un élément actif en verre, le procédé pour fabriquer l'ébauche est sensiblement identique à celui utilisé pour les polymères. Pour ce qui concerne le traitement chimique destiné à dépolir, pour les rendre mouillables, les faces interne et externe d'un tel élément en verre, il sera effectué suivant une technique parfaitement connue des verriers. Aux revêtements 284 (ou aux faces dépolies) des paires de plaques 254 de l'élément actif 250, est associée une couche commune de tissu hydrophile 286, qui coiffe tous les raccords d'extrémités hauts 262 de cet élément (il est vertical dans un alambic selon l'invention.). Cette couche hydrophile commune 286 est destinée à répartir uniformément, sur les revêtements 284 des plaques 254, le liquide à distiller qui sera introduit dans l'enveloppe 252, à travers sa tubulure haute 274.

Les figures 11 et 12 concernent une forme de réalisation particulière d'un module d'alambic à diffusion de vapeur utilisant un gaz incondensable saturé en vapeur du liquide à distiller comme fluide caloporteur et des échangeurs thermiques de distillation compacts, du genre décrit aux figures 10 A-B-C. La figure 11A est une vue globale d'un tel module. La figure 11B représente les détails de ce module et la figure 11C, une coupe transversale de l'un des échangeurs thermiques utilisés. Quant aux figures 12 A-B, elles représentent les détails des canalisations et des raccordements des différents fluides qui circulent dans l'alambic.

Selon les figures 11 A-B, l'alambic 290, présenté à titre d'exemple, est un module comprenant tout d'abord (1) huit échangeurs thermiques de distillation compacts, verticalement disposés, 292₁₋₈, destinés à assurer une évaporation du liquide à distiller puis une condensation de sa vapeur, et (2) un échangeur thermique compact simple 294. Selon la figure 12C, qui est la coupe selon le plan C-C de la figure 11B, l'élément actif 293₁₋₈ de chaque échangeur compact 272₁₋₈, comporte huit paires de petites plaques creuses

minces, solidaires, symétriques. Selon la figure 11B, ces paires de plaques sont pourvues d'un revêtement hydrophile ou mouillable 284₁₋₈ et d'une coiffe en tissu hydrophile 286₁₋₈, assurant une répartition uniforme du liquide à distiller sur tous les revêtements 284₁₋₈.

5 Dans cet exemple d'alambic 290, chaque plaque des huit paires symétriques d'un élément actif 293₁₋₈ a 10 cm de large, 60 cm de long, 2 mm d'épaisseur interne, 0,5 mm d'épaisseur de paroi, 0,1 mm de revêtement et des écarts de séparation de 2 mm. La surface de chaque élément actif 293₁₋₈ est sensiblement de 1 m² et son volume total de 2,5 dm³. Le volume actif V d'un module de huit éléments est de 20 dm³ et sa surface totale d'échange thermique, de 8 m².

10 Selon la figure 12C, les huit éléments actifs 293₁₋₈ à diffusion de vapeur sont regroupés dans un enveloppe unique 296 mais ils pourraient tout aussi bien être isolés ou regroupés deux par deux ou quatre par quatre dans des enveloppes plus petites. Dans tous les cas, à chaque élément actif 293₁₋₈ sont associées deux portes coaxiales d'entrée 298₁₋₈ et de sortie 300₁₋₈, aménagées dans la partie de l'enveloppe qui l'entoure. Selon les figures 11B et 12A-B, chaque élément actif 293₁₋₈ à diffusion de vapeur comporte, dans sa partie supérieure, une porte d'entrée latérale 302₁₋₈ et, dans sa partie inférieure, une porte de sortie latérale 15 304₁₋₈, diagonalement opposée à la précédente. De même, l'échangeur thermique simple 294 comporte un élément actif 295, pourvu de portes latérales d'entrée et de sortie 305-307 et d'une enveloppe 308, pourvue de deux portes coaxiales d'entrée et de sortie 310-312.

Au-dessus de l'alambic 290, est installé un réservoir d'eau de mer 314 relié, par un tuyau 316a-b et un robinet 317, à un conduit 318 qui traverse un tube 320, dans lequel débouchent les huit portes de sortie 304₁₋₈ 20 des éléments actifs 293₁₋₈ à diffusion de vapeur et la porte de sortie 307 de l'élément actif 295 de l'échangeur thermique simple 294. Le conduit 318 est relié à l'entrée de l'enveloppe 322 d'un échangeur thermique à contre-courant 324 et la sortie de cette enveloppe est reliée, par un tuyau 319, à une antichambre 326, précédant la porte d'entrée 310 de l'enveloppe 308 de l'échangeur compact simple 294. Cet échangeur 324 fait l'objet, sur la figure 11B, d'une représentation symbolique mais, sur la figure 12, sa représentation est plus 25 conforme à la réalité. Cet échangeur thermique 324 est du genre compact et il comporte un élément actif 328, dont la coupe transversale est représentée à la figure 11C. La fonction de cet élément 328 sera précisée ci-après. L'eau de mer qui sort de l'échangeur 324 traverse l'échangeur thermique 294 puis en sort, par sa porte de sortie 312, pour pénétrer dans une chaudière 332.

Selon la figure 12A, la chaudière 332 comporte une pièce d'entrée 334, prolongée par un tube de 30 chauffe 336, lui-même traversé par un radiateur tubulaire 338. Ce radiateur 338 possède une entrée 340 et une sortie 342, toutes deux extérieures à la chaudière 332, et il est adapté à être parcouru sans dommages par un fluide de chauffage approprié (gaz ou liquide chaud de 105 à 120°C). A cet effet, le radiateur 338 pourra être réalisé en un métal, adapté à résister à la corrosion éventuelle du gaz de chauffage utilisé, ou en un polymère ayant une bonne tenue mécanique à la température du liquide chaud. Le tube de chauffe 336 35 comporte à son extrémité aval (1) une cloison 344, traversée par le radiateur tubulaire 338, (2) dans la partie supérieure de cette cloison 344, un ou plusieurs orifices calibrés 346, adaptés à engendrer un ou plusieurs jets de vapeur 347, lorsque l'eau de mer bout dans ce tube de chauffe 336 et (3) dans la partie inférieure de ce même tube 336, un ou plusieurs trous associés à un ou des tuyaux courts 348, à section calibrée, adaptés à assurer un soutirage approprié de cette eau.

40 La chaudière 332 est enfermée dans un conduit cylindrique allongé 350, à section circulaire, disposé à l'horizontale et, dans la partie inférieure de ce conduit, débouchent les portes de sortie 312 et 300₁₋₈ des enveloppes 308 et 296 des échangeurs thermiques 294 et 292₁₋₈. La pièce d'entrée 334 de cette chaudière

occupe l'extrémité amont du conduit 350 et elle comporte, peu après la porte de sortie 312 de l'enveloppe 308 de l'échangeur 294, une cloison épaisse 352, percée en son centre d'une ouverture en tronc de cône 354, occupée par un obturateur 356 à profil identique, adapté à progressivement fermer cette ouverture lorsqu'il est tiré vers le haut. L'obturateur 356 est relié à un flotteur 358 par deux tiges de liaison 359a-b, entre lesquelles
5 passe l'extrémité aval d'un radiateur tubulaire 338. Lorsque l'eau de mer atteint un niveau approprié dans la pièce d'entrée 334 et dans le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, le flotteur 358 amène l'obturateur à pointeau 356 à complètement fermer l'ouverture d'entrée 354 de la chaudière, laquelle opère ainsi à un niveau d'eau de mer constant, situé au-dessus du radiateur tubulaire 338. Dans la partie basse du conduit 350, sous le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, est installée une chambre 360 de surchauffe et de sursaturation
10 du gaz caloporteur, occupée par un plateau étroit et légèrement creux, recouvert de plusieurs couches de tissu hydrophile 361. L'eau de mer sortant du tube de chauffe 336 de la chaudière 332 par le tuyau calibré de soutirage 348, se déverse sur l'extrémité aval du plateau et imbibe la totalité du tissu hydrophile 361. A son tour, ce plateau est percé de huit trous calibrés, situés juste au-dessus des huit portes de sortie 300₁₋₈ de l'enveloppe 296 des éléments actifs 293₁₋₈ à diffusion de vapeur. Une mèche et/ou un tuyau 362₁₋₈, engagés
15 dans chacun des trous du plateau et dans chacune des portes de sortie 300₁₋₈ de l'enveloppe 296, établissent une liaison entre le revêtement hydrophile 361 du plateau et la coiffe hydrophile 286₁₋₈ des raccords d'extrémités 274 (voir fig.10A) des éléments actifs 293₁₋₈.

Le conduit cylindrique horizontal 350, entourant le tube de chauffe 336 de la chaudière 332, est relié par un tube coudé 364 à un autre conduit cylindrique horizontal 366. Dans ce conduit 366, débouchent les
20 portes d'entrée 302₁₋₈ des éléments actifs à diffusion de vapeur 293₁₋₈ et la porte d'entrée 305 de l'élément actif 295 de l'échangeur thermique simple 294, cependant que les portes de sortie 304₁₋₈ et 307 de ces mêmes éléments actifs débouchent dans le conduit 320. Ce conduit 320 est relié par un tuyau coudé 368 à un autre conduit cylindrique horizontal 370, dans lequel débouchent les portes d'entrée 298₁₋₈ de l'enveloppe 296 des éléments actifs 293₁₋₈. Le conduit 370 comporte, à son extrémité aval, une cloison 371 qui le sépare de
25 l'anti-chambre 330 de l'enveloppe 308 de l'échangeur thermique simple 294, la paroi extérieure de cette anti-chambre prolongeant celle du conduit 370.

Au fond 372 du conduit horizontal 320, s'accumule l'eau distillée qui s'écoule des portes de sortie 304₁₋₈ et 307 des éléments actifs 293₁₋₈ et 295 et celle qui s'est condensée sur la paroi extérieure du tuyau 318 parcouru par l'eau de mer froide. Sur le fond 374 du conduit horizontal 370, s'accumule la saumure qui
30 s'écoule des portes d'entrée de gaz caloporteur 298₁₋₈ de l'enveloppe 296. Ce fond 372 est relié à l'entrée de l'élément actif 328 de l'échangeur 324 (voir fig.12B), par un tuyau 376. La sortie de cet élément actif 328 débouche sur un tuyau 378 et une gouttière d'évacuation 379 de l'eau distillée cependant que la saumure accumulée au fond 374 du conduit 370 s'évacue par un tuyau 380 et une gouttière 381.

Grâce aux formes de réalisation données à l'alambic selon l'invention et aux chaudières susceptibles
35 de l'alimenter, décrites aux figures 11 et 12 commentées ci-dessus, on dispose d'appareils de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, particulièrement intéressants. Le fonctionnement général de l'alambic, décrit aux figures 11-12, est identique à celui de l'alambic, selon la troisième forme de réalisation de l'invention, décrit à la figure 5, qui a été précisé plus haut. Les N plaques creuses 54 de distillation sont remplacées par les huit échangeurs compacts à diffusion de vapeur 292 et les n plaques auxiliaires de
40 réchauffage, représentées par le tuyau 66, remplacées par l'échangeur thermique simple 294. L'élément actif 84, traversé par de l'eau froide à distiller, de l'échangeur thermique 80, remplacé par le conduit 318 traversé de même, l'enveloppe 82 étant remplacée par le tube horizontal 320 et l'échangeur 88 est remplacé par

l'échangeur 324. La gouttière 379 d'évacuation de l'eau distillée, accumulée au fond 372 du tube 320, qui s'est condensée dans les échangeurs 292 et 294 et dans le tube 320, et qui sort de l'élément actif 328, remplace la gouttière 116 dans laquelle se déverse l'eau distillée collectée en sortie des (N+n) plaques 54, 63-66, au fond de l'enveloppe 82 et en sortie de l'élément actif 114. Mais l'intérêt économique de cette seconde façon de réaliser un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur perfectionné selon présente invention, est en revanche très supérieur à la première, représentée à la figure 5. Le premier volet de cette supériorité vient de la forme donnée aux échangeurs thermiques utilisés et le second, des moyens mis en œuvre pour faire circuler le gaz caloporteur dans ces échangeurs.

On notera que l'échangeur thermique 80 ou celui constitué par le tube 318 et son enveloppe 320 est un composant essentiel de l'alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la présente invention. Sa fonction est d'abaisser de plusieurs dizaines de degrés la température du gaz caloporteur sortant des plaques creuses, avant de le faire entrer dans les espaces inter-plaques. Cela, afin d'avoir à l'entrée des espaces inter-plaques, un écart local dH de flux d'enthalpie sensiblement égal à celui engendré par la source chaude entre la sortie de ces espaces et les entrées des plaques creuses, compte-tenu de la très grande différence qui existe entre les capacités calorifiques apparentes C_p de l'air saturé aux températures concernées. En revanche, il apparaît que les échangeurs thermiques 88 et 324 ont pour objet de récupérer l'énergie thermique de l'eau distillée à évacuer, afin d'améliorer au mieux le COP de l'alambic. En effet, le liquide à distiller, entrant dans les espaces inter-plaques des échangeurs thermiques compacts 294, sort d'un ou de plusieurs autres échangeurs thermiques 324 du même genre, disposés entre la ou les sorties des échangeurs thermiques 292-294 et les moyens de collecte 376 des liquides distillés qui se condensent sur les faces internes des éléments actifs des échangeurs thermiques 292 et 294 et sur les parois du conduit 318 de l'échangeur thermique 318-320 ou de ses équivalents 250. La suppression de ces échangeurs 88 et 324, dans le cas d'une énergie thermique bon marché, n'aurait guère d'importance. Il en est pratiquement de même pour les n plaques creuses auxiliaires, représentées par le tuyau 66 et son enveloppe 63, ou par l'échangeur 294, réalisant un échangeur thermique complémentaire entre le gaz caloporteur chaud saturé et le liquide à distiller, avant que celui-ci entre dans la chambre de chauffe de la chaudière 120 ou 332.

Aux avantages imputables aux seuls échangeurs compacts utilisés dans le second alambic, on ajoutera l'emploi d'un ou de plusieurs simples jets de vapeur pour faire circuler le gaz caloporteur. Ces jets de vapeur 347, sont adaptés à réchauffer jusqu'à une température T_1 optimale ou simplement efficace et à sursaturer le courant d'air caloporteur, qui quitte l'aval du tapis spongieux 361 imbibé d'eau très chaude. En outre ces jets de vapeur fournissent à ce courant d'air, par échange de quantités de mouvement, une pression suffisante, pour le faire pénétrer par le haut et descendre à l'intérieur des éléments actifs 293 des échangeurs 292 et ainsi lui faire parcourir, à l'encontre de la convection naturelle, un circuit bouclé sur lui-même, à travers les plaques creuses 256 des éléments actifs 293 et leurs espaces inter-plaques 260. A titre d'exemple, une telle quantité de mouvement, susceptible de propulser un courant d'air chaud de haut en bas de plaques creuses minces puis ce même courant refroidi de bas en haut d'espaces inter-plaques étroits, en surmontant les différentes pertes de charge subies, au cours d'un tel trajet en boucle fermée, pourra être obtenue en portant à 102°C l'eau de mer dans le tube de chauffe 336, ce qui engendrera un ou des jets de vapeur, relativement puissants, à 80 millibars de surpression, éjectés à 150 m/s. De tels jets de vapeur permettent de surmonter la convection naturelle et aussi de supprimer le ventilateur 92, prévu à cet effet dans l'alambic de la figure 5. Ce qui a pour conséquence, de diminuer encore le montant de l'investissement à réaliser et de simplifier notablement l'exploitation de l'équipement.

On notera les avantages couplés, apportés par la présence (1) du flotteur lié à l'obturateur à pointeau installé à l'entrée du tube de chauffe de la chaudière représentée à la figure 12A et (2) des deux groupes de trous calibrés de sortie, haut et bas respectivement, pratiqués à la sortie de ce tube de chauffe, pour permettre la production de jets de vapeur et le soutirage de l'eau chaude. Grâce à ces composants de la chaudière, on dispose d'un tube de chauffe à niveau, pression et débit constants. En effet, il est possible, au moyen d'un courant d'un fluide de chauffage quelconque, gaz ou liquide, suffisamment chaud, de porter l'eau de mer à distiller, contenue dans ce tube de chauffe, à une température supérieure à sa température d'ébullition et ainsi de créer, au-dessus du niveau d'eau, de la vapeur en surpression. L'amplitude de cette surpression est déterminée par la puissance de chauffe utilisée. Le tube de chauffe 336 et le radiateur tubulaire 338 constituent un échangeur thermique pour fluides confinés circulant à contre-courant. Les caractéristiques de cet échangeur (matériaux, diamètres et longueurs du tube de chauffe et du radiateur tubulaire), seront déterminés en fonction des résultats à obtenir, compte-tenu des caractéristiques respectives (natures, débits, températures, capacités calorifiques) du fluide de chauffage disponible et du liquide à distiller. Une telle production de vapeur sera obtenue, par exemple, grâce à un radiateur tubulaire en acier inoxydable adéquat, susceptible de résister aux différents composants des gaz d'échappement à 300°C d'un moteur Diesel. Dans le cas où le fluide caloporteur à utiliser serait le liquide refroidissement (à environ 110°C) d'un moteur thermique, le matériau utilisé pourra être le même pour les deux, (un polymère mécaniquement stable à ces températures, par exemple). Il en serait de même si le liquide de chauffage du radiateur tubulaire était de l'huile thermique (de genre ESSO 500, par exemple) chauffée le jour par une chaudière solaire appropriée, équipée d'un réflecteur cylindrico-parabolique, et stockée jour et nuit à haute température (120 ou 130°C, par exemple) et à pression atmosphérique, dans un réservoir calorifugé.

Lorsque la chaudière est arrêtée, la pression totale au-dessus du niveau d'eau dans le tube de chauffe est égale à la pression extérieure et le débit d'eau, à travers les tubes de soutirage, est pratiquement nul. Lorsque la chaudière est en marche et qu'une température d'équilibre est atteinte (102°C, par exemple), la surpression au-dessus du niveau d'eau est de 80 millibars et les débits d'eau et de vapeur sont à leurs valeurs nominales. La transition entre ces deux états est très courte puisque seule la quantité d'eau présente dans le tube de chauffe est à chauffer. Toute variation de la puissance de chauffe entraîne une variation de la température de l'eau et de la pression d'équilibre de la vapeur dans le tube de chauffe. En conséquence, toute augmentation de la puissance de chauffe se traduit par une augmentation simultanée du débit de vapeur et du débit d'eau à évaporer dans l'alambic, lequel peut, de ce fait, ne comporter qu'une seule commande et donc rendre inutile le robinet de réglage du débit d'eau salée entrant.

Sur la figure 5, la forme de réalisation de la chaudière 120 n'a pas été précisée. En pratique, il est possible d'utiliser l'une ou l'autre des chaudières décrites aux figures 11 et 12. On notera que la température de l'eau qu'elle fournit est inférieure à sa température d'ébullition. En l'absence de vapeur en surpression, le jet de vapeur 347, utilisé sur la figure 12 pour faire circuler le gaz caloporteur, ne peut donc être créé par la chaudière 120. En conséquence, un propulseur mécanique, un ventilateur 92, doit être utilisé pour faire circuler ce gaz. Le cas d'une chaudière incapable de produire de la vapeur en surpression est, par exemple, celui d'une chaudière solaire sans réflecteur.

La figure 13 représente la vue en perspective d'un alambic à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur circulant par convection naturelle, dont le bloc de distillation est un ensemble de plaques creuses minces, planes et souples, d'un modèle particulièrement bien adapté à ce type d'alambic. En fait, cette figure 13

précise les détails de réalisation d'un alambic selon la figure 6, dans lequel la chaudière solaire est remplacée par un tube de chauffage.

Selon la figure 13, apparaissent six plaques creuses minces 400₁₋₆ qui représentent symboliquement un bloc de distillation constitué par un grand nombre de ces mêmes plaques (plusieurs centaines ou même plusieurs milliers, le cas échéant) que l'on peut installer sur un châssis (non représenté) monté dans une chambre de traitement calorifugée 401. Cette chambre 401, comme la chambre 48' de la figure 6, comporte trois étages ayant approximativement la même hauteur : un étage inférieur pour la cheminée basse, un étage central pour le bloc de distillation et un étage supérieur pour la cheminée haute. Sur la figure 13, pour faciliter la description et simplifier le dessin, plusieurs parois de cette chambre 401 sont représentées par leurs contours seulement.

A titre d'exemple non limitatif, chaque plaque creuse 400 mesure 40 cm de large, 50 cm de haut et 2 mm d'épaisseur interne. D'une manière générale toutefois, de telles plaques creuses planes, souples et minces, pourront avoir une surface maximale par face d'environ 1 m², une largeur maximale d'environ 80 cm et au plus 5 mm d'épaisseur interne. Chaque plaque 400 est formée à partir d'une nappe fine 402₁₋₆ en polymère (notamment en polypropylène) ayant une bonne tenue mécanique à la température maximale (au plus 90°C) du gaz caloporteur. Cette nappe, identique à celle utilisée pour réaliser les grandes plaques 140 de la figure 7, a une épaisseur d'à peu près 100 à 250 microns et elle est pourvue d'un revêtement hydrophile ou mouillable d'à peu près 50 à 150 microns d'épaisseur. Sur la figure 13, chaque nappe 402₁₋₆ apparaît pliée en deux, portée par une tringle de suspension 404₁₋₆, revêtement à l'extérieur. Les tringles 404₁₋₆ sont en polymère, avec un bord supérieur arrondi, et elles ont 2 mm d'épaisseur, 4 cm de large et 50 cm de long. Au moyen d'une ou plusieurs lignes de soudure longitudinales, la partie supérieure de chaque nappe 402₁₋₆ est soudée à sa tringle de suspension 404₁₋₆ et sa partie inférieure, soudée de même à une barre de tension 406₁₋₆. Les tringles 404₁₋₆ et les barres 406₁₋₆ sont en polymère identique à celui de la nappe et elles ont toutes 2 mm d'épaisseur et de 50 cm de long. Les barres de tension 406 comportent à leurs extrémités des appuis 408a-b à bords supérieurs coplanaires. Entre ces deux appuis, au travers de l'arraché 405, pratiqué sur le pan avant de la nappe 402₁, apparaît la barre de tension 406₁ qui présente un bord inférieur oblique 410, raccordé en biais à l'extrémité de cette barre. En bas du bord oblique 410, est aménagé dans l'épaisseur de chaque barre de tension 406, un point 412 de soutirage de l'eau distillée produite, constitué par une entaille transversale, profonde de 1 mm et large de 3 mm, le cas échéant, remplacée ou occupée par une mèche plate. Le bord supérieur de chaque barre de tension 406 est en forme de V très ouvert, calé sur l'entaille 412. Les pans des nappes 402₁₋₆ débordent leurs barres de tension 406₁₋₆. Ces pans sont relevés et les plis formés en biais, puis écrasés et maintenus en place par tout moyen approprié, notamment des points de couture. De la sorte, sont constitués pour chaque plaque creuse 400, deux conduits plats 414, inclinés, parallèles et contigus, permettant de collecter la saumure produite par chaque plaque creuse de l'alambic. Sous les conduits plats 414 et à l'aplomb des points de soutirage 412 de l'ensemble de plaques creuses 400 ainsi formé, est installée une gouttière unique 416 de collecte de l'eau distillée chaude produite.

La saumure collectée par les conduits plats 414 se déverse dans une gouttière 418 pourvue de becs verseurs 420a-b, disposés au-dessus d'un tube de chauffage 422, recouvert d'un tapis hydrophile mince 424, à pans dégagés. La longueur de ce tube de chauffage 422 correspond à celle de l'ensemble de plaques creuses minces 400₁₋₆, juxtaposées avec des espaces inter-plaques 403₂₋₆ de même épaisseur. Le tube de chauffage 422 est alimenté en fluide de chauffage par un tuyau 423, ce fluide étant susceptible de porter la température de la saumure qui imprègne le tapis 424, à une température maximale de 95°C environ. Le tube

422 est installé dans la cheminée basse 426 de l'alambic. Cette cheminée 426 est constituée entre un épais panneau d'isolant thermique 428 qui divise en deux parties communicantes l'étage inférieur de la chambre de traitement 401. Ce panneau 428 forme, avec les panneaux semblables, tel 430 (seul représenté), qui constituent le calorifugeage des parois transversales de l'étage inférieur de la chambre de traitement 401, d'une part, la partie inoccupée 432, à paroi plane 433, de cet étage inférieur et, d'autre part, la cheminée basse 426, à paroi courbe 427. A l'aplomb du tube de chauffage 422, est disposé un réservoir 434 dans lequel aboutit la saumure qui s'écoule chaude du tapis 424 recouvrant ce tube chauffant 422. Les plaques creuses 400 sont pourvues d'une cheminée haute 436, constituée de la même façon que la cheminée basse 426. Cette cheminée haute 436 débouche sur un passage 435, formé entre un bloc d'isolant thermique 437 et la paroi supérieure 439 de la chambre de traitement 401. Dans ce passage 435, sont installés un ou plusieurs éléments actifs monoblocs d'échange thermique 438, parcourus, à contre-courant de l'air qui circule autour, par l'eau de mer à distiller qui entre dans l'alambic par un tuyau 440 et en sort par un tuyau 442. A titre d'exemple, un tel ensemble d'échange thermique 438, possède une capacité d'échange air/eau d'environ 170 Watts/°C et, à cet effet, il comprend trente quatre soufflets de 15 cm de long et 5 cm de large, avec des épaisseurs internes de plaques creuses et d'espaces inter-plaques de 2 mm. Au-delà de l'espace occupé par ces éléments 438, apparaît la partie inoccupée 443 de l'étage supérieur de la chambre de traitement 401. Au-dessus des plaques creuses 400, est transversalement installé un dispositif allongé 444 (boîte ouverte représentée ou tube sous légère pression) de distribution de l'eau de mer tiède amenée par le tuyau 442. Le fond du distributeur 444 comporte deux rangées de trous, percés au pas d'assemblage des plaques et traversés par des mèches (non représentées) étalées et fixées par quelques pinces, sur le haut du revêtement hydrophile de ces plaques.

Les tringles de suspension 404₁₋₆ des plaques creuses 400₁₋₆ sont posées sur deux poutres horizontales parallèles, faisant partie du châssis installé dans la chambre de traitement calorifugée 401, et les barres de tension 406 de ces plaques, sous deux poutres horizontales de réglage de tension, semblables et parallèles aux précédentes, reliées au châssis par des ressorts. La hauteur des plaques creuses 400 détermine la distance entre ces poutres et celle-ci est fixée une fois pour toutes. Ces poutres, ce châssis et ces ressorts sont des composants banals qui ne sont pas représentés, pour ne pas surcharger la figure. Compte-tenu de l'élasticité de chacune des nappes 402 et de la raideur des ressorts solidaires des deux poutres basses, la force de tension individuelle de chaque nappe, est de 200 à 400 grammes environ, en fonction de l'épaisseur de paroi et de la hauteur des nappes.

A une distance de 5 cm de l'une des extrémités de chacune des tringles 404, une entretoise courte 448 lui est fixée en équerre. Cette entretoise 448, qui mesure 22 cm de long, 2 cm de large et 2 mm d'épaisseur, est libre entre les deux pans de la nappe repliée 402, son bord extérieur coïncidant avec les bords extérieurs de ces deux pans. De même, à 5 cm de l'extrémité opposée de chacune des barres de tension 406, est également fixée en équerre, dans les mêmes conditions, une autre entretoise courte 450, visible à travers l'arraché 451, identique à 448. De la sorte, à la base et au sommet des nappes 402₁₋₆, repliées sur leurs tringles de suspension 404₁₋₆, sont aménagées deux ouvertures diagonalement opposées 452₁₋₆ et 454₁₋₆, de 20 cm de haut et de 2 mm de large, qui constituent les entrées et les sorties des plaques creuses 400₁₋₆. Ces entrées et ces sorties demeurent constamment bien ouvertes et les épaisseurs internes de ces plaques à peu près constantes, du fait des tensions uniformément engendrées dans les pans libres des nappes, par les ressorts solidaires des poutres en appui sur leurs barres de tension et du fait d'un collage complémentaire des bords des ouvertures sur les entretoises longues 456, décrites ci-après.

Les plaques creuses 400₁₋₆ sont séparées les unes des autres ou des deux panneaux d'assemblage et de maintien visés ci-après, par des espaces libres 403₁₋₇, chacun de ces espaces étant bordé par une paire d'entretoises longues, telle 456₂, de 2 mm d'épaisseur et 2 cm de large, en appui sur les deux poutres du châssis. Les entrées, telle 457₃, de ces espaces inter-plaques 403 sont visibles sur la figure 13 cependant que leurs sorties sont cachées. L'ensemble formé, par les plaques creuses 400₁₋₆ ainsi suspendues et tendues, par les espaces inter-plaques 403₂₋₆ et par les deux espaces libres d'extrémités, bordés par des entretoises longues, telles 456₂ et 456₇, est assemblé par deux panneaux rigides (non représentés) reliés au moyen de tirants de serrage. De la sorte, les tringles de suspension 404, les entretoises courtes 448-450, les entretoises longues 456 et les barres de tension 406 pincent fortement les nappes 402 qui constituent les plaques creuses 400, leurs espaces inter-plaques 403 et les deux espaces libres d'extrémité. Dans ces conditions, un bloc de distillation est constitué qui présente une étanchéité latérale tout à fait suffisante, autour des entrées 452 et des sorties 454 des plaques creuses de distillation 400 et, dans le cas des espaces inter-plaques 403, de part et d'autre de leurs entrées 457 et de leurs sorties.

Les flèches 460, 462 et 464 représentent le courant d'air ascendant dans les trois étages de la chambre de traitement 401, à savoir dans la cheminée basse 426, à l'intérieur des plaques creuses 400 et dans la cheminée haute 436. La flèche 466 représente le courant d'air le long des parois de l'élément actif monobloc d'échange thermique 438 et la flèche 468, ce courant dans l'espace collecteur 443 de l'étage supérieur de la chambre de traitement. La flèche 470, visible au travers de l'arraché 472, pratiqué dans le pan arrière de la nappe 402₁, représente le courant d'air descendant dans les espaces inter-plaques 403. Quant aux flèches 474, elles représentent les courants d'air sortant de ces espaces inter-plaques 403 et pénétrant dans l'espace collecteur 432 de l'étage inférieur de la chambre de traitement. La flèche 476 représente le courant d'air qui pénètre dans la cheminée basse 426 de la chambre 401. Les flèches 478, 479, 480 représentent le courant d'eau de mer à distiller qui entre, traverse et sort de l'élément actif d'échange thermique 438.

Grâce à ces dispositions, cet alambic selon la figure 13, à diffusion de vapeur et à gaz incondensable caloporteur, circulant par convection naturelle, fonctionne exactement dans les mêmes conditions que l'alambic de la figure 6. En outre, avec le nouveau modèle de plaque creuse, plane, mince et souple, utilisé, on retrouve en mieux tous les avantages fonctionnels de l'échangeur thermique monobloc de distillation, selon la présente invention, référencé 250 sur la figure 10A. En effet, un ensemble de plaques creuses 400 possède la même surface d'échange thermique de distillation par volume unitaire, soit 400 m² par mètre cube, qu'un ensemble d'échangeurs monoblocs de distillation, mais en plus l'épaisseur des parois de ces plaques et de leur revêtement hydrophile est plus de trois fois inférieure à celle de ces échangeurs (0,15 au lieu de 0,50 mm). Ce qui améliore considérablement le rapport Q/V à prendre en compte, dans le calcul du C_{IE} de l'alambic, lequel atteint alors la valeur élevée 297 indiquée plus haut. De plus, si l'on compare le prix de fabrication du composant principal de ce nouveau modèle de plaques creuses 400, (à savoir, la nappe fine 402, sa tringle de suspension 404, sa barre de tension 406 et ses entretoises 450) à celui d'une grande plaque souple 140 de la figure 7 ou même à l'élément actif monobloc d'un échangeur thermique rigide de distillation 250, rapporté à la même surface d'échange, on constate que ce prix est remarquablement bas (moins de 1 €, pour une plaque de 50 dm²) et plusieurs fois inférieur à celui des deux autres modèles.

En outre, on remarquera qu'il est relativement aisé d'éviter tout gonflement, dommageable pour l'efficacité de l'alambic, des parois planes et tendues des plaques creuses, souples et minces, 400, en choisissant convenablement, d'une part, les hauteurs des plaques creuses et des cheminées basse et haute de l'alambic,

et d'autre part, l'épaisseur de ces parois et leur raideur aux températures concernées en fonction du polymère utilisé. Ce double choix a pour objet de faire en sorte que la différence entre les pressions dynamiques des courants d'air ascendant dans ces plaques creuses et descendant dans leurs espaces inter-plaques, circulant en circuit fermé, soit pratiquement négligeable (de l'ordre de 1 Pascal) devant la tension mécanique appliquée aux nappes constituant les parois de ces plaques.

Pour que le Cop global d'un tel alambic soit amélioré, il est intéressant d'ajouter au bloc de distillation, formé par les plaques creuses de distillation 400₁₋₆, un bloc de récupération de la chaleur des liquides distillé et concentré chauds, produits par cet alambic. Ce bloc de récupération thermique comprend deux groupes de plaques creuses auxiliaires minces, pourvues de revêtements hydrophiles, installées à la verticale. La surface totale des plaques auxiliaires d'un bloc de récupération thermique est d'environ dix fois inférieure à celle des plaques du bloc de distillation auquel il est associé. Ce rapport est une fonction inverse du coefficient d'efficacité de l'échange thermique réalisé par ces plaques auxiliaires. Ces plaques auxiliaires sont rigides et adaptées à supporter sans déformation les pressions hydrostatiques des liquides distillé et concentré qui doivent y circuler. A titre d'exemple, ce sont des panneaux alvéolaires rigides, du genre décrit plus haut à titre de variante des panneaux souples 140₁₋₃ de la figure 7, pourvus de rondelles de raccordement 172 et 174. Ces rondelles forment des tranches de conduit d'alimentation, assemblées par des tirants tels que celui référencé 186 sur la figure 8. L'extrémité 184 du conduit bas d'alimentation de chaque groupe de plaques auxiliaires constitue l'entrée de ce groupe, reliée au tuyau d'aspiration d'un siphon, et l'extrémité de son conduit haut, la sortie de ce groupe reliée au tuyau d'évacuation de ce siphon. Le bloc de récupération thermique formé par ces deux groupes de plaques auxiliaires et par les tuyaux de leurs siphons ne sont pas représentés, pour ne pas surcharger le dessin et parce que ces tuyaux sont des composants banals, ajoutés à des composants originaux, parfaitement décrits et représentés par ailleurs. Les plaques creuses de ce bloc de récupération thermique ont mêmes longueur et largeur que les plaques creuses du bloc de distillation, et elles possèdent également des espaces inter-plaques à bords latéraux, rendus étanches par des entretoises. Ces deux blocs sont accolés et leurs composants sont enserrés et pincés par des panneaux rigides d'extrémité, reliés ensemble par des tirants d'assemblage.

De l'eau de mer, de préférence à température aussi basse que possible (par exemple, refroidie par des moyens naturels ou, à défaut, à T_{L1} plutôt qu'à T_{L2}), est répandue sur les revêtements des deux groupes de plaques creuses auxiliaires et une partie du courant d'air à la température T_4 circule de haut en bas le long de ces revêtements. Les deux tuyaux d'aspiration des siphons, plongent respectivement dans la gouttière 416 de collecte de l'eau distillée et dans le réservoir 434 de collecte de la saumure concentrée et ils sont raccordés aux entrées des deux groupes de plaques du bloc de récupération thermique. Les deux tuyaux d'évacuation de ces siphons, sont reliés aux sorties de ces plaques creuses auxiliaires et ces tuyaux d'évacuation débouchent à bonne distance en dessous des niveaux de la gouttière 416 pour l'un et du réservoir 434 pour l'autre. Les liquides chauds qui circulent de bas en haut dans ces plaques creuses auxiliaires provoquent l'évaporation d'une partie de l'eau de mer répandue sur leurs revêtements. Les courants d'air refroidi qui circulent de haut en bas le long de ces revêtements emportent la vapeur ainsi produite et, à cette occasion, se réchauffent et se saturent. Les deux courants d'air chaud saturé, qui sortent des espaces inter-plaques de ces deux groupes de plaques creuses de récupération thermique, sont ajoutés à ceux qui sortent des espaces inter-plaques des plaques creuses de distillation. Le mélange est ensuite réchauffé et sursaturé et il prend la température T_1 . Dans ces conditions, les températures des liquides distillé et concentré évacués sont relativement basses, de l'ordre de 40°C, soit 15°C au-dessus de la température usuelle T_{L1} du liquide à

distiller. Dans le cas usuel où les quantités d'eau distillée et de saumure produites sont égales, cela a pour résultat d'amener le Cop général de l'alambic à s'élever jusqu'à 20.

En conséquence de tout ce qui vient d'être dit, un alambic solaire familial à air chaud saturé circulant par convection naturelle qui comprend (1) une chaudière solaire ayant 1 m² de serre, laquelle produit 7 kWh thermiques par jour, (chaudière 120' de la fig.6) installée en lieu et place du tube de chauffage 422 de la fig.13, (2) un bloc de distillation feuilleté, formé de 100 plaques creuses minces, souples et planes, (plaques 400 de 20 dm² par face et un pas de 4,5 mm) et (3) un bloc de récupération thermique formé d'une dizaine de plaques creuses auxiliaires, peut assurer une production de 200 litres d'eau distillée par jour. Avec un petit brûleur à gaz de 35 kW, associé à un ou plusieurs tubes de chauffage appropriés 422, installés entre deux ensembles symétriques de blocs de distillation et de récupération thermique, chaque bloc comprenant 500 plaques creuses de distillation et 50 de récupération, identiques ou semblables aux plaques 400 de la fig.13 (chacune de 1 dm³ de volume actif), on peut construire un alambic pour petites collectivités qui aura (avec un Cop de 20) une production d'eau distillée d'environ 20 m³ par jour. Une production identique d'eau distillée peut être fournie par un alambic pourvu, d'une part, d'un bloc de distillation de 2.000 plaques creuses planes tendues, de 1 m² de surface par face, un pas de 4,5 mm et 10 m³ de volume actif total et, d'autre part, d'une chaudière solaire équipée d'une serre de 100 mètres carrés, produisant environ 700 kWh par jour. Avec ce dernier bloc de distillation, il est possible de construire un alambic, associé à une chaudière moyenne de 350 kW, qui produit environ 200 m³/jour. Une telle chaudière pourra être l'échangeur thermique de refroidissement du moteur Diesel d'une petite centrale électrique ou d'un navire. Une production d'eau douce de quelques milliers de m³/jour est possible avec un alambic à air chaud saturé, circulant par convection naturelle, comprenant une chaudière de quelques dizaines de MW, alimentant en parallèle les tubes de chauffage de plusieurs blocs de distillation, au volume actif total de quelques centaines de mètres cubes, pourvus d'autant de blocs de récupération thermique ayant quelques dizaines de mètres cubes de volume actif.

L'invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites.

L'efficacité des alambics selon l'invention découle de l'utilisation maximale de la chaleur qui leur est fournie, ce qui impose, en préalable, un calorifugeage optimal de leur chambre de traitement. Dans le cas des alambics solaires, nécessairement installés en plein air, un tel calorifugeage sera généralement réalisé sur place, au moyen d'une construction locale (en pisé, par exemple). Dans ce cas, la paroi extérieure de l'alambic sera un panneau peu épais, délimitant l'enceinte relativement étanche de l'alambic.

Au cas où l'alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'eau, selon la figure 3, ne pourrait pas, pour des raisons pratiques d'installation, fonctionner par thermosiphon, une pompe sera utilisée pour assurer la circulation du liquide caloporteur.

L'échangeur thermique 80 constitué par les conduits coaxiaux 318 et 320 de la figure 12B peut être remplacé par un échangeur thermique monobloc simple 250 ou 438.

Les plaques creuses planes 400, minces et souples, à parois tendues, de la figure 13, peuvent bien évidemment être utilisées pour constituer le bloc de distillation d'un alambic selon la figure 5.

Dans le cas d'un alambic à convection naturelle et chaudière solaire, selon la figure 6, pourvu d'un réservoir 63' de collecte de la saumure chaude, lui assurant un fonctionnement complémentaire de nuit, seule l'eau distillée produite fera l'objet d'une récupération thermique.

Dans tous les alambics à gaz caloporteur circulant par convection naturelle, des cheminées haute et basse de hauteurs importantes sont nécessaires pour engendrer cette convection naturelle d'une manière satisfaisante et ainsi obtenir un temps de transit adéquat t dans les plaques creuses de distillation. De telles hauteurs peuvent être inappropriées, pour un alambic familial. Mais dans ce cas, il est possible de corriger cet inconvénient en diminuant notablement ces hauteurs, tout en conservant le temps de transit t recherché. Cela se fait, en installant, moteur à l'extérieur, l'hélice d'un ventilateur (identique à celui 92 de la fig.5), en amont des entrées des espaces inter-plaques, dans l'espace haut inoccupé 443 de l'alambic de la fig.13. La poussée exercée par cette hélice sur le courant d'air refroidi, qui vient de traverser, avec pertes de charge, les plaques creuses de distillation 400 et les espaces inter-plaques de l'échangeur thermique monobloc 438, compense ces pertes et propulse ce courant avec une vitesse et une pression adéquates dans les espaces inter-plaques et augmente ainsi le débit du courant d'air qui circule en circuit fermé. En ajustant une fois pour toutes, la vitesse de rotation de cette hélice, il est possible de régler la pression dynamique de ce courant d'air dans les espaces inter-plaques, afin que soit évitée toute déformation des parois des plaques creuses, qui serait dommageable à la bonne circulation en circuit fermé de ce courant d'air.

En outre, si l'on souhaite qu'un tel alambic familial puisse devenir un meuble de cuisine, au même titre qu'un réfrigérateur, le tube de chauffage 422 décrit à la fig.13 et son alimentation (laquelle est un appareil généralement absent des cuisines) seront avantageusement remplacés par une source chaude particulière, facile à constituer dans une cuisine d'appartement ou sur un bateau de plaisance. Et cette source chaude, qui aura en plus une fonction complémentaire de propulseur, sera constituée par un tube de chauffe, producteur de jets de vapeur, installé comme le tube 422. Ce tube aura un faible diamètre intérieur (2 cm, par exemple), il sera fermé à une extrémité et pourvu d'orifices calibrés, percés à intervalles réguliers (5 cm, par exemple) le long d'une génératrice. Ce tube sera installé à bonne distance en amont des entrées des plaques creuses, de façon que les jets de vapeur qu'il produit soient, d'une part, correctement dirigés et, d'autre part, capables de se disperser dans le courant de gaz avant que celui-ci ne pénètre dans les plaques creuses. Ces jets de vapeur auront, par exemple, une température de 101°C et une pression juste un peu supérieure (40 hPa) à la pression atmosphérique. Ils seront éjectés à une vitesse de 110 m/s. Et ils auront un débit suffisant pour pouvoir ajouter 2 à 5°C, à la température T_2 du courant d'air sortant des espaces inter-plaques, et ainsi saturer ce courant d'air tout en l'amenant à une température T_1 optimale ou simplement efficace, à l'entrée des plaques creuses. De plus, ces jets de vapeur produiront une poussée ascendante, complémentaire de celle engendrée par la convection naturelle et, le cas échéant, de la poussée descendante produite par l'hélice d'un ventilateur. On notera qu'un tel tube de chauffe à jets de vapeur peut, (à titre de source chaude complémentaire, opérant à chaque fois que cela est nécessaire) être installé en amont des entrées des plaques creuses, lorsque l'alambic comporte une chaudière solaire telle que celle référencée 120' sur la fig.6.

La vapeur qui alimentera ce tube de chauffe à jets de vapeur sera produite, en toute sécurité, par une simple bouilloire raccordée à ce tube par un tuyau calorifugé. Cette bouilloire contiendra de l'eau distillée et elle sera chauffée par tout moyen de chauffage disponible dans la cuisine ou, plus généralement, au voisinage de l'alambic. Dans le cas où l'on recherchera une production d'eau distillée pendant une durée importante (quelques heures, par exemple), la bouilloire sera une marmite pourvue d'un couvercle, adapté à lui être fixé d'une manière étanche. Ce couvercle comportera une prise d'eau et une prise de vapeur, destinée à être raccordée par un tuyau à l'extrémité libre du tube à jets de vapeur. La prise d'eau sera prolongée par un conduit, terminé par un obturateur à pointeau solidaire d'un flotteur (semblable ou équivalent à celui 356-358 des figures 11 et 12), afin que cette marmite puisse opérer à niveau constant. Et la prise d'eau de cette

bouilloire sera alimentée par un tube ouvert à l'air libre (semblable au tube 113' de la figure 6), connecté à la gouttière de sortie de l'alambic et pourvu d'un déversoir, débouchant au-dessus d'une réserve d'eau distillée. La quantité d'eau distillée, ainsi consommée par la bouilloire, diminuera d'un point le Cop de l'alambic. Mais cela n'a guère d'importance, avec un alambic selon l'invention, tel que celui décrit à la figure 13, qui
5 généralement possède un Cop d'au moins 15. Cette solution peut évidemment s'appliquer aussi à des alambics pour collectivités, de puissance très supérieure, et ce tube de chauffe à jets de vapeur pourra alors être utilisé seul ou associé à une autre source chaude.

Un tel alambic familial, pourvu à la fois de cheminées haute et basse relativement courtes, d'un tube à orifices calibrés produisant des jets de vapeur et, le cas échéant, d'un ventilateur, constitue un appareil
10 domestique de taille réduite, produisant de l'eau distillée à des conditions économiques intéressantes. Un tel appareil est particulièrement bien adapté à l'équipement des bateaux de plaisance et des cuisines des appartements des immeubles de certaines grandes villes modernes du littoral (telles Hong Kong ou Singapour), où sévit continuellement une certaine pénurie d'eau douce et où, pour pouvoir faire face à cette insuffisance chronique, de l'eau de mer est également distribuée pour alimenter les chasses d'eau des
15 toilettes.

Lorsque la température de l'eau à distiller disponible est relativement élevée, supérieure à 35°C, par exemple, comme cela est le cas dans certains déserts, dont le sous-sol contient de l'eau saumâtre, il est nécessaire, pour qu'un alambic à diffusion de vapeur et contre-courant d'air fonctionne d'une manière optimale, d'abaisser notablement cette température avant de la faire entrer dans l'appareil. Pour ce faire, on
20 utilisera les grandes plaques rectangulaires creuses 140, à revêtement hydrophile, décrites à la figure 7, en les transformant en réfrigérateur naturel. Le liquide à distiller circulera par gravité à l'intérieur de ces plaques et, par gravité et capillarité, dans leur revêtement hydrophile. En installant ces plaques à l'ombre, avec un bon écart entre elles, l'air sec du désert (ou de tout autre région aride) provoquera une évaporation continue d'une bonne partie de l'eau qui s'écoule dans le revêtement, ce qui aura pour effet de refroidir l'eau qui circule à
25 l'intérieur. La température minimale susceptible d'être atteinte par un tel réfrigérateur naturel est la température du point de rosée de l'air ambiant (soit inférieure à 10°C, pour de l'air sec).

Comme cela a été dit dans la demande PCT afférente à l'invention antérieure, le gaz incondensable, utilisé dans un alambic à diffusion de vapeur, peut ne pas être de l'air pur mais un mélange d'air et d'un gaz susceptible de parfaire l'élimination des germes infectieux que pourrait contenir l'eau à distiller entrant dans un
30 alambic à diffusion de vapeur selon la présente invention. En effet, des mesures, réalisées dans un laboratoire officiel, ont prouvé qu'une distillation, effectuée au moyen d'un tel alambic, pouvait transformer en eau potable, l'eau polluée résultant d'un traitement par lagunage des eaux usées d'une ville moyenne.

Si l'invention concerne principalement des procédés et des appareils de production d'eau douce, à partir d'eau de mer, d'eau saumâtre ou d'eau polluée, elle intéresse également les industries alimentaires et
35 chimiques, pour produire de liquides concentrés, tels que sirops ou saumures. Il est en effet particulièrement intéressant, de récupérer l'énergie thermique des effluents chauds des usines concernées, pour économiser d'importants frais d'évaporation des différents liquides à concentrer.

REVENDICATIONS

5

1. Procédé de distillation à multiple effet, destiné à séparer de leur solvant liquide des matières en solution, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, dans lequel :

- des échanges thermiques sont effectués à contre-courant par un fluide caloporteur unique, liquide ou gazeux, circulant en circuit fermé le long de surfaces, respectivement chaudes S_c et froides S_f , liées par une
- 10 conductance thermique importante ;
- lesdites surfaces S_c et S_f sont des faces de parois de plaques creuses minces d'échange thermique de distillation, installées en grand nombre, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, comportant des espaces inter-plaques étroits, de largeur sensiblement constante, remplis d'un gaz inconden-
- 15 sable, notamment d'air à pression atmosphérique ;
- caractérisé en ce que : .
- le fluide caloporteur circule, dans un premier sens ascendant ou descendant, le long des surfaces S_c , en passant d'une température initiale élevée T_1 à une température finale T_3 inférieure à T_1 puis, dans un second sens inverse du premier, le long des surfaces S_f , en passant d'une température initiale T_4 , inférieure à T_3 , à une température finale T_2 , supérieure à T_4 et inférieure à T_1 ;
- 20 - en haut des faces externes des parois des plaques creuses, à l'intérieur desquelles le fluide caloporteur circule dans ledit premier sens, du liquide à distiller est répandu qui s'étale et descend lentement en couches fines le long de ces faces externes ;
- sous l'action du courant de fluide caloporteur circulant dans ledit premier sens, une partie du liquide à distiller répandu sur lesdites faces externes s'évapore, cependant que ce courant se refroidit, passant de T_1 à T_3 , et
- 25 que la vapeur produite diffuse dans le gaz incondensable présent dans les espaces inter-plaques ;
- sous l'action du courant de fluide caloporteur, circulant dans ledit second sens, la vapeur diffusée dans le gaz incondensable se condense, cependant que ce courant se réchauffe, passant de T_4 à T_2 , sous l'effet d'une récupération d'une partie importante de la chaleur latente de condensation de la vapeur diffusée ;
- une source chaude est disposée entre les extrémités les plus chaudes des surfaces S_c et S_f , pour augmenter
- 30 la température du fluide caloporteur de T_2 à T_1 ;
- une source froide est disposée entre les extrémités les moins chaudes de ces mêmes surfaces S_c et S_f , pour abaisser la température du fluide caloporteur de T_3 à T_4 ;
- un écart local sensiblement constant de flux d'enthalpie dH est établi entre les surfaces S_c et S_f , en donnant des amplitudes appropriées aux échanges thermiques respectivement effectués entre le fluide caloporteur et
- 35 lesdites sources chaude et froide ;
- les températures optimales du fluide caloporteur T_1 , T_2 et T_3 , T_4 , aux extrémités de ces mêmes surfaces, sont déterminées à partir du maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité $C_{IE} = Q^2/P.V$ de l'installation, Q étant la puissance thermique de distillation échangée, P étant la puissance thermique fournie par la source chaude et V , le volume actif de l'installation .

40

2. Procédé de distillation à diffusion de vapeur, selon la revendication 1, dans lequel :

- le fluide caloporteur est le liquide à distiller ;
 - les plaques creuses minces d'échange thermique de distillation sont chaudes ou froides et elles sont alternativement installées dans la chambre de traitement calorifugée, les faces internes de leurs parois respectives constituant lesdites surfaces chaudes S_c et froides S_f ;
 - du liquide à distiller est répandu sur les faces externes des parois des seules plaques chaudes ;
- caractérisé en ce que :
- le liquide caloporteur circule, dans un premier sens ascendant ou descendant, à l'intérieur des plaques chaudes, il y entre très chaud à la température T_1 et il en sort refroidi à la température T_3 , après avoir provoqué une évaporation partielle du liquide à distiller en écoulement sur les faces externes des parois de ces plaques chaudes ;
 - à la sortie de ces plaques chaudes, le liquide caloporteur à la température T_3 est refroidi jusqu'à la température T_4 ;
 - ensuite, le liquide caloporteur à la température T_4 entre à l'intérieur des plaques froides où il circule dans un second sens inverse du premier en provoquant, sur les faces externes des parois de ces plaques froides, une condensation de la vapeur diffusée à travers la lame de gaz incondensable de l'espace inter-plaques et en récupérant une partie de la chaleur de condensation de cette vapeur pour se réchauffer, et finalement il sort des plaques froides à la température T_2 ;
 - au cours de ces opérations, les flux de chaleur traversent les parois des plaques chaudes et froides ainsi que les lames immobiles de gaz incondensable qui les séparent ;
 - le liquide distillé descend le long des faces externes des parois des plaques froides, cependant que le liquide concentré descend le long des faces externes des parois des plaques chaudes ;
 - la température optimale T_1 du liquide caloporteur, à l'entrée des plaques chaudes, est aussi peu que possible inférieure à la température d'ébullition de ce liquide à pression atmosphérique ;
 - la température optimale T_3 du liquide caloporteur, à la sortie des plaques chaudes, est relativement élevée et située dans une plage qui correspond à une zone entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité C_{IE} de l'installation ;
 - les écarts de température $(T_1 - T_2)$ et $(T_3 - T_4)$ sont faibles, avec $(T_1 - T_2)$ un peu supérieur à $(T_3 - T_4)$.

3. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 2, caractérisé en ce que :

- la correspondance, entre la plage optimale des températures T_3 et le maximum de C_{IE} , est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives avec une variable composite $t \cdot dT$, dans laquelle t est le temps de transit du liquide caloporteur dans les plaques et dT , l'écart de température entre les liquides circulant dans les plaques froides et chaudes ;
- l'écart optimal de température dT est établi par un ajustement du rapport entre la puissance de chauffe de la source chaude et le débit massique D de liquide caloporteur circulant ;
- la valeur optimale choisie pour dT est relativement élevée lorsque le coût unitaire de l'énergie thermique, aisément disponible sur le lieu de mise en œuvre du procédé, est relativement faible ;
- la plage intéressante de la température T_3 est à peu près l'intervalle 58 à 78°C, lorsque le liquide à distiller est de l'eau ;

- le temps de transit optimal t du fluide caloporteur dans les plaques d'échange thermique est établi par ajustement du débit massique D du liquide caloporteur circulant en boucle fermée.

4. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 2 ou 3, dans lequel le liquide caloporteur circule, par thermosiphon ou par pompage, de haut en bas à l'intérieur des plaques creuses chaudes et de bas en haut à l'intérieur des plaques creuses froides, caractérisé en ce que :
- un échange thermique de réchauffement est effectué entre le débit d de liquide à distiller entrant dans l'installation à la température T_{L1} et les deux débits de liquides distillé et concentré qui en sortent, de manière à porter la température de ce débit d à une valeur intermédiaire optimale T_{L2} , relativement élevée ;
 - 10 - un mélange est effectué entre ce débit entrant d ainsi réchauffé et le débit D de liquide caloporteur sortant des plaques chaudes à la température T_3 , le rapport d/D étant ajusté de façon que le mélange ainsi réalisé soit à une température T_4 optimale, à l'entrée des plaques froides .

5. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que :
- le liquide caloporteur circule par thermosiphon, de bas en haut à l'intérieur des plaques creuses chaudes et de haut en bas à l'intérieur des plaques creuses froides,
 - le débit d de liquide à distiller entrant à la température T_{L1} est ajouté au débit D de liquide caloporteur sortant à la température T_3 des plaques chaudes, le rapport d/D étant ajusté de façon que le mélange ainsi réalisé soit
 - 20 à une température T_4 optimale à l'entrée des plaques froides ;
 - un débit d de liquide à la température T_3 ou T_4 est répandu en haut des faces externes des plaques chaudes.

6. Procédé de distillation à diffusion de vapeur, selon la revendication 1, dans lequel :
- le fluide caloporteur est ledit gaz incondensable, saturé en vapeur du liquide à distiller ;
 - 25 - du liquide à distiller est répandu en haut des faces externes des parois de toutes les plaques creuses d'échange thermique de distillation, ces faces externes constituant lesdites surfaces froides S_f cependant que les faces internes des parois de ces plaques constituent lesdites surfaces chaudes S_c ;
- caractérisé en ce que :
- le courant de gaz caloporteur à température T_1 entre à l'intérieur de toutes les plaques creuses de distillation,
 - 30 où il circule dans un premier sens ascendant ou descendant, cependant qu'une partie de sa vapeur se condense sur les faces internes des parois des plaques, que des flux de chaleur, dus à une récupération quasi totale de la chaleur latente de condensation, traversent les parois des plaques pour évaporer une partie du liquide en écoulement sur les faces externes de ces parois et que, de ce fait, ce courant de gaz se refroidit et finalement sort des plaques creuses à la température T_3 ;
 - 35 - à la sortie de ces plaques, ce courant de gaz caloporteur à température T_3 est, par échange thermique, refroidi jusqu'à la température T_4 et le liquide distillé, condensé à cette occasion, est récupéré ;
 - ensuite, ce courant de gaz caloporteur à température T_4 entre dans les espaces inter-plaques, où il circule dans un second sens inverse du premier, en emportant la vapeur produite dans ces espaces et en se réchauffant, finalement il sort de ces espaces à la température T_2 ;
 - 40 - le liquide distillé, condensé sur les faces internes des parois des plaques creuses, descend le long de ces faces internes cependant que le liquide concentré descend le long des faces externes de ces parois ;

- la température optimale T_1 du courant de gaz caloporteur, à l'entrée des plaques creuses, est située dans une large plage entourant le maximum du Critère Intrinsèque d'Efficacité C_{IE} de l'installation;
 - la température T_4 du courant de gaz caloporteur, à l'entrée des espaces inter-plaques, est optimale lorsque, par un refroidissement approprié, elle est rendue aussi proche que possible de la température minimale de la
- 5 source froide naturelle disponible sur place ;
- l'écart de température (T_1-T_2) est faible et l'écart (T_3-T_4), important.

7. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 6, caractérisé en ce que :

- 10 - la correspondance entre la plage optimale des températures T_1 et la zone du maximum de C_{IE} est réalisée par l'intermédiaire de leurs relations respectives entre une variable composite $t.dH/V$, dans laquelle t est le temps de transit du gaz caloporteur dans les plaques creuses et dH un écart local sensiblement constant de flux d'enthalpie, entre les faces internes et externes des parois des plaques creuses ;
- la plage intéressante de la température T_1 est à peu près comprise entre 74° et 91°C ;
- 15 - l'écart local optimal de flux d'enthalpie dH , entre les faces internes et externes des parois des plaques creuses, est établi par ajustement du rapport entre la puissance de chauffe de la source chaude et le débit massique D du gaz caloporteur circulant ;
- la valeur optimale de l'écart dH est plus élevée, lorsque le C_{IE} et le coût de l'énergie thermique, aisément disponible sur place, sont relativement faibles ;
- 20 - le temps de transit optimal t du courant de gaz caloporteur dans les plaques creuses est établi par ajustement du débit massique D de ce courant de gaz.

8. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que, suivant un premier ensemble de dispositions,

- 25 - le courant de gaz à température T_1 est introduit en haut des plaques creuses de distillation et il en sort par le bas à la température T_3 ;
- à la sortie des plaques creuses de distillation, ce courant de gaz à température T_3 est soumis à un premier échange thermique de refroidissement, assuré par une source froide à la température T_{L1} , constituée par le débit entrant de liquide à distiller, afin que, compte-tenu des caractéristiques massiques et thermiques
- 30 respectives de ce courant de gaz et de ce débit de liquide, la température T_3 du courant de gaz soit abaissée jusqu'à une température optimale T_4 et la température du liquide portée à T_{L2} ;
- après cet échange thermique, le liquide à distiller à température T_{L2} est réchauffé par une source chaude;
 - le courant de gaz à température T_4 est introduit en bas des espaces inter-plaques et il en sort par le haut à la température T_2 ;
- 35 - le courant de gaz circule en circuit fermé dans les plaques creuses et dans les espaces inter-plaques, sous l'action d'au moins un propulseur ;
- à la sortie des espaces inter-plaques, le courant de gaz à température T_2 est réchauffé et saturé en vapeur, par un contact physique adéquat avec le liquide à distiller réchauffé par la source chaude, de manière à prendre une température T_1 , optimale ou simplement efficace ;
- 40 - après son contact physique avec le courant de gaz à température T_2 , le liquide à distiller est répandu, à température proche de T_1 , en haut des faces externes des parois des plaques creuses, et il en sort à une température proche de T_4 ;

- le liquide distillé, condensé au cours dudit échange thermique de refroidissement et celui, condensé sur les faces internes des plaques creuses, sont collectés, évacués et récupérés ;
- le liquide concentré est recueilli en bas des faces externes des parois de ces plaques puis il est évacué et, le cas échéant, récupéré.

5

9. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 8, caractérisé en ce que :

- lesdites plaques creuses de distillation formant un nombre important N de plaques, un petit courant de gaz caloporteur à température T_1 est introduit dans un nombre réduit n de plaques creuses auxiliaires de réchauffement, pour participer à un deuxième échange thermique, destiné à réchauffer le liquide à distiller sortant d'un troisième échange thermique ;
- le débit de liquide à distiller qui sort réchauffé de ce deuxième échange thermique est introduit dans la chambre de chauffe de la chaudière, en lieu et place de celui sortant précédemment du premier échange thermique ;
- en sortant de ces n plaques creuses de réchauffement, le petit courant refroidi de gaz caloporteur est mélangé avec le courant de gaz caloporteur sortant des N plaques creuses de distillation, puis le mélange est soumis audit premier échange thermique, pour en sortir à ladite température T_4 ;
- le liquide à distiller sortant du premier échange thermique est réchauffé, au cours dudit troisième échange thermique, par le liquide distillé qui s'est condensé sur les faces internes des parois des (N+n) plaques ;
- les débits de liquides distillés, produits en sortie de ces (N+n) plaques creuses et au cours du premier échange thermique, sont mélangés puis évacués et récupérés.

10. Procédé de distillation selon la revendication 8 ou 9, caractérisé en ce que :

- la source chaude est une chaudière pourvue d'une chambre de chauffe opérant à niveau de liquide constant et adaptée à produire du liquide très chaud et des jets de vapeur ;
- le liquide à distiller très chaud est étalé sur un support, afin d'être balayé par le courant de gaz caloporteur à la température T_2 ;
- les jets de vapeur constituent des propulseurs destinés à faire circuler le courant de gaz caloporteur en circuit fermé et à contre sens de la convection naturelle, et, en outre, à réchauffer et sursaturer ce courant pour l'amener à une température T_1 optimale ou simplement efficace ;
- la puissance de chauffe de la chaudière est variable et les débits de liquide chaud et de vapeur sont réglés en ajustant cette puissance.

11. Procédé de distillation à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que, suivant un second ensemble de dispositions ,

- le courant de gaz saturé à la température T_1 est introduit en bas des plaques creuses de distillation et il en sort par le haut à la température T_3 ;
- à la sortie des plaques creuses de distillation, ce courant de gaz est soumis à un échange thermique de refroidissement, assuré par une source froide à température T_{L1} , constituée par le débit entrant de liquide à distiller, afin que, compte-tenu des caractéristiques massiques et thermiques de ce courant de gaz et de ce débit de liquide, la température T_3 du courant de gaz soit abaissée jusqu'à une température optimale T_4 et la température du liquide portée à T_{L2} ;

- après cet échange thermique, le liquide à distiller à température T_{L1} ou T_{L2} est répandu en haut des faces externes des parois des plaques creuses, il descend le long de ces faces externes et il les quitte à une température proche de T_2 ;
- le courant de gaz à température T_4 est introduit en haut des espaces inter-plaques et il en sort par le bas à la température T_2 ;
- à la sortie des espaces inter-plaques, le courant de gaz à température T_2 est soumis à l'action d'une source chaude, afin d'être réchauffé, saturé en vapeur et porté à une température T_1 optimale ou simplement efficace ;
- le courant de gaz à température T_1 est introduit en bas des plaques creuses et, au moins par convection naturelle, il monte à l'intérieur de ces plaques puis il en sort par le haut, il traverse ensuite une zone où il subit ledit échange thermique de refroidissement puis, à température T_4 , il entre et descend par gravité dans les espaces inter-plaques ;
- le liquide distillé, condensé au cours de l'échange thermique de refroidissement, et celui condensé le long des faces internes des parois des plaques creuses sont collectés puis évacués ;
- le liquide concentré est collecté au bas des espaces inter-plaques, en vue d'une évacuation immédiate ou différée.

12. Procédé de distillation selon la revendication 11, caractérisé en ce que,

- en sortant des espaces inter-plaques, le liquide concentré est réchauffé par une source chaude ;
- le courant de gaz sortant de ces espaces inter-plaques est réchauffé et saturé par un contact physique adéquat avec le liquide concentré, réchauffé par cette source chaude ;
- le liquide un peu plus concentré, qui résulte de l'opération précédente, est le cas échéant collecté dans un réservoir, d'où il est évacué d'une manière périodique.

13. Procédé de distillation selon la revendication 11, caractérisé en ce que :

- avant d'être évacué d'une manière continue, le liquide distillé collecté circule de bas en haut dans un petit groupe de plaques creuses auxiliaires de récupération thermique, séparées par des espaces inter-plaques étroits ;
- le cas échéant, il en est de même pour le liquide condensé collecté ;
- ces plaques creuses auxiliaires de récupération thermique sont à la fois rigides, minces et pourvues de revêtements extérieurs, hydrophiles ou mouillables ;
- du liquide à distiller, de préférence aussi froid que possible, est répandu en haut de ces revêtements ;
- une partie du courant de gaz à la température T_4 circule de haut en bas le long de ces revêtements ainsi humidifiés ;
- le courant de gaz chaud saturé qui quitte ces revêtements est ajouté à celui qui sort des espaces inter-plaques des plaques creuses de distillation, puis le mélange est réchauffé et saturé afin de prendre une température T_1 efficace ou optimale ;
- les liquides distillé et concentré sortent refroidis en haut de ces plaques creuses auxiliaires de récupération thermique puis ils sont évacués et au moins l'un d'entre eux est récupéré.

14. Procédé de distillation selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que :

- la source chaude concernée est une chaudière solaire, adaptée à chauffer un tapis hydrophile mince, incliné en fonction de la latitude du lieu d'installation ;
- le liquide chaud concentré, qui coule des espaces inter-plaques, aboutit à une gouttière dans laquelle est
5 immergée la partie supérieure de ce tapis hydrophile ;
- le liquide chaud concentré qui s'écoule de ce tapis hydrophile est recueilli dans un réservoir calorifugé, dont la surface est à la fois découverte et aussi grande que possible et la profondeur suffisante pour qu'il puisse contenir tout le liquide concentré produit au cours d'une journée;
- le courant de gaz, qui sort des espaces inter-plaques, est dirigé vers la surface du liquide chaud contenu
10 dans ce réservoir, afin d'en effectuer un balayage et bénéficier ainsi d'un préchauffage ;
- ensuite, le courant de gaz ainsi préchauffé lèche ce tapis hydrophile, chauffé pendant le jour et constamment humidifié par le liquide concentré, afin d'être réchauffé et saturé, avant de pénétrer en bas des plaques creuses de distillation ;
- le réservoir est vidé tous les matins, afin qu'une distillation complémentaire limitée puisse être effectuée
15 pendant la nuit.

15. Procédé de distillation selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que la source chaude concernée est un tube de chauffage, pourvu d'un revêtement hydrophile à pans dégagés, sur lequel est déversé le liquide concentré qui s'écoule des espaces inter-plaques, le liquide très concentré produit étant
20 évacué en continu.

16. Procédé de distillation selon la revendication 11, caractérisé en ce que :

- la source chaude concernée est constituée par des jets de vapeur, installés à bonne distance et orientation, en amont des entrées des plaques creuses ;
- ces jets de vapeur réchauffent etaturent le courant de gaz sortant des espaces inter-plaques et, de plus, ils
25 constituent des propulseurs auxiliaires qui augmentent la vitesse de circulation par convection naturelle de ce courant et peuvent ainsi donner une valeur optimale au temps de transit de ce courant de gaz dans les plaques creuses ;
- le liquide concentré sortant des espaces inter-plaques est collecté et évacué en continu.

30

17. Procédé de distillation selon les revendications 11 ou 16, caractérisé en ce que un ventilateur est utilisé juste en amont des espaces inter-plaques, pour augmenter le débit circulant.

18. Alambic, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, selon le procédé de distillation
35 de la revendication 4, comprenant :

- un bloc de distillation, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, constitué par un grand nombre de plaques creuses minces, alternativement chaudes (10) ou froides (12), à revêtement hydrophile ou mouillable, installées, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces inter-plaques étroits (14), remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air à pression atmosphérique;
- des moyens pour faire circuler le liquide à distiller, en circuit fermé et en fluide caloporteur, de haut en bas à
40 l'intérieur des plaques chaudes puis de bas en haut, à l'intérieur des plaques froides ;
- une source chaude (17-18-19), disposée entre les extrémités hautes des plaques froides et chaudes ;

- une source froide (20-22) , disposée entre les extrémités basses des plaques chaudes et froides ;
 - des moyens (11a-b et 13 a-b) pour respectivement raccorder les extrémités hautes et basses des plaques (10-12) à l'entrée et à la sortie des sources chaude et froide ;
 - des moyens (11c) pour répandre du liquide à distiller chaud, en haut des faces externes des plaques
- 5 chaudes ;
- des moyens (32) pour recueillir le liquide distillé qui descend le long des faces externes des parois des plaques froides et des moyens semblables (30) pour recueillir le liquide concentré qui descend le long des faces externes des parois plaques chaudes (10) ;
- caractérisé en ce qu'il comporte :
- 0 - une source chaude (17), adaptée à porter la température du liquide à distiller à une valeur aussi proche que possible de sa température d'ébullition à pression atmosphérique ;
 - un échangeur thermique (22) comportant une enveloppe (28) enfermant deux éléments actifs (24-26), ces éléments étant de préférence du genre monobloc à multiples replis creux (250) ;
 - un réservoir (36) contenant le liquide à distiller, disposé au-dessus des plaques et relié à l'entrée de
- 5 l'enveloppe (28) ;
- et en ce que :
- les moyens (30-32) de collecte des liquides distillé et concentré sont reliés aux entrées des éléments actifs (24-26) et les sorties de ces éléments aboutissent respectivement à des gouttières d'évacuation (38-40) ;
 - la sortie de l'enveloppe (28) est reliée à une entrée d'un mélangeur (20), dont l'autre entrée est reliée, par le
- 20 dispositif de raccordement (11b), à la sortie des plaques chaudes (10), et la sortie de ce mélangeur (20), est reliée par le dispositif de raccordement (13b) à l'entrée des plaques froides (12), la température du liquide caloporteur étant alors T_4 ;
- les moyens, pour faire circuler le liquide caloporteur dans les plaques creuses (10-12), sont adaptés à déterminer un temps de transit t de ce liquide dans ces plaques, qui donne à la variable composite $t.dT$ une
- 25 valeur correspondant à la température optimale T_3 .

19. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur selon la revendication 18, caractérisé en ce que les moyens pour faire circuler le liquide à distiller dans les plaques creuses sont constitués soit par une pompe soit par la convection naturelle engendrée par une différence de niveaux appropriée entre, d'une part, les

30 extrémités hautes des plaques chaudes (10) et froides (12) et, d'autre part, les embouchures d'entrée et de sortie de la chambre de chauffe (19) d'une chaudière (18), installée en dessous.

20. Alambic, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, selon le procédé de distillation de la revendication 5, comprenant :

35 - un bloc de distillation, à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, constitué par un grand nombre de plaques creuses minces, alternativement chaudes (10') ou froides (12'), à revêtement hydrophile ou mouillable (16'), installées, verticales ou inclinées, dans une chambre de traitement calorifugée, avec des espaces inter-plaques étroits (14'), remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air à pression atmosphérique;

40 - une gouttière (32') pour recueillir le liquide distillé qui descend le long des faces externes des parois des plaques froides (12') et une autre (30'), pour recueillir le liquide concentré qui descend le long des faces externes des parois plaques chaudes (10'),

caractérisé en ce que :

- le conduit d'entrée (11'a) des plaques chaudes (10') et le conduit de sortie (13'a) des plaques froides (12') sont situés en bas de ces plaques ;
- le conduit de sortie (11'b) des plaques chaudes (10') et le conduit d'entrée (13'b) des plaques froides (12') sont situés en haut de ces plaques ;
- 5 - la chambre de chauffe (19') d'une chaudière (18'), disposée entre le conduit de sortie (13'a) des plaques froides (12') et le conduit d'entrée (11'a) des plaques chaudes (10'), engendre dans ces plaques une circulation en circuit fermé, par convection naturelle ;
- des becs verseurs (11'c), branchés sur le conduit de sortie (11'b) des plaques chaudes (10'), sont installés au-dessus des revêtements (16') de ces plaques ;
- 10 - un réservoir (36'), contenant le liquide à distiller, est disposé au-dessus des plaques (10'-12'), ;
- un mélangeur (20'), disposé sous le réservoir (32') et au-dessus des plaques (10'-12'), comporte une entrée reliée à la sortie de ce réservoir (36'), une autre, reliée au conduit de sortie (11'b) des plaques chaudes (10'), et une sortie, raccordée au conduit d'entrée (13'b) des plaques froides (12')
- la source chaude (17') de la chaudière (18') est adaptée à porter la température du liquide à distiller à une
- 15 valeur aussi proche que possible de sa température d'ébullition à pression atmosphérique;
- un robinet (34'), installé entre le réservoir (36') et le mélangeur (20'), est adapté à régler le débit entrant du liquide à distiller et l'écart de température (T_3-T_4).

21. Alambic, à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, notamment pour produire de l'eau douce ou des
- 20 concentrés, selon le procédé de distillation de la revendication 8 comprenant :
- un bloc de distillation, constitué par un nombre important N de plaques creuses minces, grandes et séparées (54) ou petites et solidaires (256- 250), et d'espaces inter-plaques étroits (58 ou 260), remplis d'un gaz incondensable, notamment d'air à pression atmosphérique, constituant ledit gaz caloporteur, ;
 - des moyens de propulsion pour faire circuler, en circuit fermé, le gaz caloporteur saturé, de haut en bas à
 - 25 l'intérieur des plaques creuses et de bas en haut dans leurs espaces inter-plaques ;
 - des moyens pour répandre le liquide à distiller chaud, en haut des plaques (54 ou 256) ;
 - des moyens pour recueillir le liquide distillé, condensé sur les faces internes des plaques, et des moyens pour recueillir le liquide condensé qui s'écoule le long de leurs faces externes ;
 - une source chaude, disposée entre les extrémités hautes des plaques et des espaces inter-plaques, et une
 - 30 source froide, disposée entre leurs extrémités basses ;
- caractérisé en ce que :
- la source chaude est installée juste au-dessus des plaques (54 ou 256-293), au milieu du courant de gaz caloporteur sortant des espaces inter-plaques pour entrer à l'intérieur des plaques creuses (54 ou 256-293), afin de porter les températures de ce courant de T_2 et T_1 et, à cette occasion, de le sursaturer en vapeur ;
 - 35 - cette source chaude comprend un plateau, le cas échéant recouvert d'un tapis spongieux (100 ou 361), pourvu d'un fond percé de petits trous, associés à des conduits et/ou mèches de répartition (102 ou 362), ce plateau étant installé sous un ou plusieurs tubes de soutirage (124 ou 348) du liquide à distiller chaud présent dans la chambre de chauffe (118 ou 336) d'une chaudière (120 ou 338) ;
 - la source froide est constituée par un premier échangeur thermique (80 ou 318) comportant un élément actif
 - 40 (84 ou 318), enfermé dans une enveloppe (82 ou 320) ;
 - l'entrée de cet élément actif (84 ou 318) est reliée à un réservoir (76 ou 314) de liquide froid à distiller, le cas échéant, à travers un dispositif auxiliaire de refroidissement naturel, et sa sortie, reliée par des moyens

appropriés (86 et/ou 66 ou 326) à l'entrée de la chambre de chauffe (118 ou 336) de la chaudière (120 ou 332) ;

- l'entrée de l'enveloppe (82 ou 320) est reliée à la sortie des N plaques creuses séparées (54) ou solidaires (256-293) et sa sortie, à l'entrée des espaces inter-plaques (58 ou 260) ;

5 les moyens de propulsion sont constitués par un ventilateur (92), installé en amont des entrées des espaces inter-plaques (58), et/ou par des jets de vapeur (347), engendrés en amont des entrées des plaques creuses (293) ;

- l'enveloppe (82 ou 320) comporte un conduit (83 ou 376) d'évacuation de l'eau distillée produite, qui coopère avec les moyens (108-115 ou 378) destinés à recueillir celle qui s'écoule en bas des (N) plaques creuses.

0

22. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 21, caractérisé en ce que :

- un nombre réduit n de plaques creuses auxiliaires (63 ou 294) est installé au voisinage des N plaques creuses du bloc de distillation, pour constituer un deuxième échangeur thermique à contre-courant, entre une petite partie de gaz caloporteur, saturé à température T_1 et le débit de liquide à distiller qui sort d'un troisième

5

échangeur thermique (88 ou 294), disposé entre la sortie du premier échangeur thermique (80 ou 318) et les moyens de collecte (108-112 ou 320) des liquides distillés qui s'écoulent sur les faces internes des parois des (N+n) plaques creuses (54 et 63 ou 293 et 295) ;

20

- les N plaques creuses du bloc de distillation (54 ou 293) et les n plaques auxiliaires (63 ou 294) débouchent sur un conduit de sortie commun, raccordé à l'enveloppe (82 ou 320) du premier échangeur thermique (80 ou 318-320) ;

23. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon l'une des revendications 18-20, caracté-

25

risé en ce que les moyens, pour raccorder les canaux communs hauts (148) et bas (163) des multiples conduits séparés (142) de grandes plaques creuses rectangulaires (10-12 ou 54-63), de rang pair ou impair, aux entrées et sorties des sources chaude (17-18-19 ou 118-120-122) et froide (20-22 ou 80), sont constitués par :

30

- deux rondelles de raccordement (172-174), insérées dans deux coins opposés des plaques creuses, chaque rondelle étant pourvue (1) de plusieurs trous (192), pratiqués dans son épaisseur, dirigés vers les canaux

35

communs hauts (148) ou bas (163) des conduits séparés (142) des plaques creuses, (2) d'un rebord circulaire (188) dont les deux faces sont soudées aux faces internes des plaques creuses et (3) d'épaulements amont et aval d'assemblage (171-173) ;

- chaque rondelle (172-174) ayant une épaisseur égale au double du pas d'installation des plaques creuses (10-12 ou 54-66), une découpe (188) est pratiquée dans le coin supérieur libre de ces plaques ;

- les rondelles sont empilées et fortement serrées, de manière à constituer une canalisation sans fuite, par un tirant d'assemblage (186), comportant une base (194) en appui sur la rondelle aval de l'empilement, une tige (196) de longueur appropriée et un raccord en forme de T (180), dont l'élément, coaxial à l'empilement des rondelles, a ses deux extrémités équipées d'appuis, l'un en anneau (202) en contact avec la rondelle amont de l'empilement et l'autre en forme de coupelle (200), percée d'un trou central traversé par l'extrémité, pourvue

40

d'un joint torique d'étanchéité (204), du tirant (186), la partie extrême de ce tirant étant filetée et pourvue d'un écrou de serrage (208).

24. Alambic à diffusion de vapeur et liquide caloporteur, selon la revendication 18 ou 20, caractérisé en ce que les moyens, pour répandre le liquide à distiller chaud en haut des revêtements (16) des plaques chaudes (10), comprennent un ou plusieurs becs verseurs (228) débouchant au-dessus d'un tissu spongieux (226), disposé au-dessus des plaques chaudes (10) et froides (12), les parties hautes de ces plaques (10-12) étant séparées les unes des autres par des plaquettes alvéolaires (214) et les plaques froides (12) ainsi que les deux plaquettes (214) qui leur sont contiguës, étant protégées de tout contact avec ce liquide chaud, par des capes imperméables (216), de préférence pourvues de revêtements hydrophiles (217), en contact avec celui (16) des plaques chaudes (10).
25. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 21 ou 22, caractérisé en ce que les moyens, pour répandre le liquide à distiller chaud en haut des revêtements (60 60') des plaques (54-54'), sont constitués par un ou plusieurs conduits (102-102') associés à des becs verseurs (228) débouchant au-dessus de bandes de tissu spongieux (226), disposées, à une certaine distance les unes des autres, au-dessus des plaques (54-54'), les parties hautes de ces plaques étant séparées les unes des autres par des plaquettes alvéolaires (214), des sections de ces plaquettes débouchant dans les espaces qui séparent les bandes de tissu spongieux.
26. Élément monobloc d'échange thermique de distillation, pour alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendications 21, comprenant :
- un ou plusieurs échangeurs thermiques élémentaires (250), chacun constitué par une pièce active unique (254), sans assemblage ni soudure, formée par un empilement de paires de plaques allongées, creuses et minces, communicantes et globalement symétriques (256a-b), réalisée, à température appropriée, par compression contrôlée d'une ébauche à paroi mince (276), ayant la forme de soufflets d'accordéon fabriqués par thermo-soufflage ;
 - les faces internes des parois d'une plaque creuse et les faces externes des parois de deux plaques contiguës, sont en tous points séparées les unes des autres par des espaces étroits, sensiblement constants (260);
 - ces paires de plaques creuses (254) constituent les conduits élémentaires de la pièce active qui comportent des parties centrales allongées (252) dont les deux extrémités sont reliées les unes aux autres, par deux raccords creux (262 - 264);
 - chaque conduit élémentaire de la pièce active possède deux collecteurs d'alimentation dont les axes sont confondus avec les axes d'empilement des raccords d'extrémités ;
 - l'une des extrémités de chaque collecteur se termine par une tubulure de connexion (266 - 268) de la pièce active ;
 - un ou plusieurs éléments actifs d'échange (254), en polymère ou en verre, sont installés fixes dans une enveloppe (251), pourvue de deux tubulures de connexion (274-276) et formée par deux demi-coquilles (251-253), fixées d'une manière étanche, l'une à l'autre, de manière à entourer complètement, avec un faible écart, ce ou ces éléments actifs (254) ;
 - caractérisé en ce que :
 - lorsque l'élément actif (254) est en polymère, un revêtement hydrophile (282) est fixé sur la paroi externe de chaque paire de plaques (256 a-b) ;
 - lorsque l'élément actif (254) est en verre, les faces externes et, le cas échéant les faces internes, de ses plaques sont dépolies par un traitement chimique approprié, afin de devenir mouillables ;

- une couche hydrophile (286) est installée sur les sommets des différentes paires de plaques de chaque élément actif (254), juste en dessous de la tubulure de raccordement (274) de l'enveloppe de cet élément.

27. Alambic, notamment pour produire de l'eau douce ou des concentrés, selon le procédé de distillation

5 de la revendication 11, caractérisé en ce que:

- il comprend un ou plusieurs blocs de distillation, à diffusion de vapeur et à gaz caloporteur, installé(s) entre un étage bas et un étage haut ;
- chaque bloc de distillation est constitué par un grand nombre de plaques creuses planes, minces et souples, à parois tendues (400₁₋₆), chacune étant, d'une part, pourvue d'une entrée (452₁₋₆) et d'une sortie (454₁₋₆), de même forme verticale allongée, diagonalement opposées et respectivement aménagées au moyen d'entretroises courtes (448₁₋₅ et 450₁₋₅), en bas d'un bord latéral de chaque plaque (400₁₋₆) et en haut de l'autre, et d'autre part, séparée de ses plaques creuses contiguës par des espaces inter-plaques (457₁₋₆), bordés latéralement par des entretoises longues (456₁₋₇), ayant la même épaisseur qu'elle ;
- les entrées (452₁₋₆) des plaques creuses (400₁₋₆) du bloc de distillation sont disposées au sommet d'une cheminée basse (426), aménagée dans ledit étage bas ;
- dans cette cheminée basse (426) est installée une source chaude (422), adaptée à réchauffer et sursaturer le gaz caloporteur qui sort des espaces inter-plaques (403₁₋₆) et ensuite traverse un large espace collecteur (432) de cet étage bas ;
- les sorties (454₁₋₆) des plaques creuses (400₁₋₆) débouchent dans une cheminée haute (436), aménagée dans ledit étage haut ;
- au sommet de cette cheminée haute (436), sont installés des éléments actifs monoblocs (438) d'échange thermique, alimentés par le liquide froid à distiller, qui font communiquer cette cheminée haute (436) et un large espace collecteur (443) de cet étage haut ;
- les entrées (457₁₋₆) des espaces inter-plaques apparaissent en bas de cet espace inoccupé haut (443) ;
- un ou plusieurs tuyaux (442) relient les sorties des éléments monoblocs d'échange thermique (438) à un ou plusieurs distributeurs (444) de liquide à distiller, transversalement disposés au-dessus de chaque bloc de distillation et adaptés à répandre du liquide au sommet de chaque plaque creuse de distillation ;
- les moyens pour faire circuler en circuit fermé du gaz caloporteur dans les plaques creuses (400₁₋₆), dans les espaces inter-plaques (457₁₋₆) et dans les cheminées basse (426) et haute (436) associées, comprennent la convection naturelle ;
- des conduits plats (414) adaptés à recueillir le liquide concentré sont aménagés en bas des espaces inter-plaques (457₂₋₆) ;
- les moyens (412-416) pour recueillir le liquide distillé, condensé dans les plaques (400₁₋₆) et sur les parois des éléments d'échange thermique (438), sont disposés sous ces plaques (400₁₋₆) et sous ces éléments et ils ont un débouché commun.

28. Alambic selon la revendication 27, caractérisé en ce que :

- un bloc de récupération thermique est associé à chaque bloc de distillation ;
- chaque bloc de récupération thermique comprend un ou, le cas échéant, deux groupes de plaques creuses auxiliaires, minces et rigides (variante de 140₁₋₃), à revêtements extérieurs hydrophiles ou mouillables, assemblés avec des espaces inter-plaques étroits, aux entrées et sorties disposées exactement comme celles des espaces inter-plaques (457) du bloc de distillation ;

- des moyens (444) pour répandre du liquide à distiller aussi froid que possible sont installés au-dessus de ces revêtements ;
- chacune de ces plaques creuses auxiliaires possède une entrée située en bas et une sortie située en haut ;
- le tuyau d'aspiration d'un siphon plonge dans les moyens de collecte (416) du liquide distillé et il est raccordé
- 5 à l'entrée d'un groupe de plaques creuses auxiliaires de récupération thermique ;
- le cas échéant, le tuyau d'aspiration d'un autre siphon plonge dans les moyens de collecte (434) du liquide concentré réchauffé et ils sont raccordés à l'entrée d'un autre groupe de plaques creuses auxiliaires de récupération thermique ;
- le(s) tuyau(x) d'évacuation de ce(s) siphon(s) est ou sont relié(s) à la ou aux sortie(s) de ce(s) groupes()
- 10 plaques creuses auxiliaires et il(s) débouche(nt) à des niveaux situés en dessous de ceux des entrées des tuyaux d'aspiration des deux liquides concernés.

29. Composant principal d'une plaque creuse, plane, mince et souple (400₁₋₆), adaptée à constituer l'un des éléments du bloc de distillation d'un alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur, selon la revendication 21 ou 27, caractérisé en ce que :
- il comprend une nappe rectangulaire allongée (402₁₋₆) en polymère ;
 - la nappe (402₁₋₆) est pliée en deux, avec des bords d'extrémité soudés à une barre de tension (406₁₋₆) en polymère, de façon à dégager deux pans débordants étroits (414) pour la nappe (402) et deux bouts débordants (408 a-b) de longueurs égales, pour la barre (406) ;
 - 20 - une tringle de suspension (404₁₋₆) en polymère est soudée à la nappe (402₁₋₆), de part et d'autre de la pliure, de façon à dégager deux bouts débordants de longueurs égales ;
 - une première entretoise courte en polymère (448₁₋₆), est fixée en équerre à une extrémité de la tringle de suspension (404₁₋₆) et disposée libre entre des bords des pans de la nappe repliée ;
 - une seconde entretoise courte en polymère (450₁₋₆), est fixée en équerre à l'extrémité opposée de la barre de
 - 25 tension (406₁₋₆) et disposée libre entre les autres bords des pans de la nappe repliée ;
 - le ou les polymères utilisés présentent une bonne tenue mécanique à au moins 90°C ;
 - l'épaisseur de la nappe est à peu près comprise entre 100 et 250 microns ;
 - les épaisseurs de la barre de tension, de la tringle de suspension et des deux entretoises sont identiques et à peu près comprises entre 2 et 5 millimètres et leurs largeurs, à peu près comprises entre 2 et 5 centimètres ;
 - 30 - la surface d'une face de la nappe (402₁₋₆) ainsi pliée est à peu près comprise entre 20 et 100 décimètres carrés, sa largeur, comprise de même entre 4 et 8 décimètres et les longueurs de la barre (406₁₋₆) et de la tringle (404₁₋₆), supérieures d'environ 10 centimètres à la largeur de la nappe ;
 - la nappe pliée (402₁₋₆) comporte un revêtement extérieur, hydrophile ou mouillable, ayant une épaisseur de 80 à 150 microns ;
 - 35 - la barre de tension (406₁₋₆) comporte, à 10 centimètres environ de l'une de ses extrémités, une entaille longitudinale (412) et/ou une mèche plate, pour constituer un moyen de soutirage du liquide distillé ;
 - les pans débordants de la nappe (402₁₋₆) sont relevés, pliés en biais et écrasés, pour constituer un conduit plat (414) d'évacuation du liquide concentré, de préférence incliné vers l'autre extrémité de la barre de tension.

30. Bloc de distillation pour alambic selon la revendication 21 ou 27, caractérisé en ce que :

- il comprend un grand nombre de composants, selon la revendication 29, dont les bouts débordants des tringles de suspension (404₁₋₆) sont posés sur deux poutres horizontales parallèles, montées fixes sur un châssis;
 - 5 - deux autres poutres, parallèles aux précédentes, montées sur des ressorts fixés audit châssis, sont installées en appui sur les bouts débordants des barres de tension (406₁₋₆) desdits composants, de manière à donner une tension appropriée aux pans des nappes (402₁₋₆) constituant ces composants ;
 - deux entretoises longues (456₁₋₆) en polymère sont installées de part et d'autre de chacun desdits composants, de manière à constituer les bords latéraux des espaces inter-plaques (457₂₋₆) et de deux espaces
 - 0 d'extrémités (457_{1,7}) ;
 - des panneaux rigides, reliés par tirants, sont installés de part et d'autre du bloc de distillation ainsi assemblé pour enserrer et pincer ses différents constituants, afin d'assurer une étanchéité latérale suffisante aux plaques creuses (400₁₋₆), aux espaces inter-plaques (457₂₋₆) et aux deux espaces libres d'extrémité (457_{1,7}) de ce bloc de distillation.
- 15
31. Chaudière pour alambics selon la revendication 21, caractérisée en ce que :
- elle est constituée par un radiateur tubulaire (338), installé dans une chambre de chauffe allongée (336), destiné à être parcouru par un fluide de chauffage approprié, adapté à porter à ébullition sous légère surpression le liquide à distiller, lequel circule dans cette chambre, à contre-courant du fluide de chauffage ;
 - 20 - une pièce d'entrée (334), est aménagée en amont de cette chambre de chauffe (336), et elle comporte une ouverture en tronc de cône (354) associée à un obturateur (356) de même forme, solidaire d'un flotteur (358), le liquide à distiller étant introduit à travers cette ouverture (354), afin de maintenir constant le niveau de ce liquide dans cette chambre (336) ;
 - la chambre de chauffe (336) comporte au moins un conduit de soutirage (348) du liquide bouillant et au moins
 - 25 une ouverture calibrée d'où s'échappent des jets de vapeur (347);
 - le conduits de soutirage (348) débouchent au-dessus d'un plateau, au fond percé de petits trous, le cas échéant recouvert d'un mince tapis spongieux (361) ;
 - ce plateau est adapté à être balayé par le courant de gaz caloporteur sortant des espaces inter-plaques ;
 - les trous du plateau communiquent à travers des conduits individuels (362) avec les revêtements hydrophiles
 - 30 des éléments actifs d'évaporation (292);
 - les jets de vapeur sont adaptés à se mélanger au courant de gaz quittant le plateau, afin de constituer des propulseurs de ce courant de gaz ainsi que des moyens pour le réchauffer et le sursaturer.

32. Source chaude pour alambics selon la revendication 27, caractérisé en ce qu'elle est une chaudière
- 35 solaire (120'), adaptée à évaporer le liquide qu'elle traite, et, à cet effet, elle est constituée par une serre plate (118'-119'), dont le fond (122') est une nappe imperméable noire, pourvue à l'arrière d'un tapis hydrophile mince, installé sur une grille tendue, et comportant, à son extrémité supérieure, un pan débordant, destiné à être plongé dans une gouttière d'alimentation (105') contenant le liquide concentré qui sort des espaces inter-plaques (58').

33. Source chaude pour alambics selon la revendication 27, caractérisée en ce qu'elle est constituée par un tube de chauffe (422), parcouru par un fluide de chauffage approprié et recouvert d'un tapis hydrophile mince (424) à pans dégagés, au-dessus duquel sont disposés des becs verseurs (420 a-b) du liquide concentré qui s'écoule des espaces inter-plaques.

5

34. Source chaude pour alambics selon la revendication 27, caractérisé en ce que elle est constituée par des jets de vapeur produits par un tube de chauffe (422) fermé à une extrémité, pourvu d'orifices calibrés percés à intervalles réguliers le long d'une génératrice et alimenté par un générateur de vapeur à faible surpression et à débit approprié.

10

35. Générateur de vapeur pour source chaude selon la revendication 34, équipant un alambic familial selon la revendication 27, caractérisé en ce que :

- il est constitué par une marmite pourvue d'un couvercle, adapté à lui être fixé d'une manière étanche et à résister à une surpression d'au moins 40 hPa ;

15 - ce couvercle est équipé d'une prise d'eau et d'une prise de vapeur ;

- la prise d'eau est prolongée par un conduit terminé par un obturateur à pointe (354-356) associé à un flotteur (358), adapté à établir un niveau d'eau constant dans cette marmite ;

- la prise d'eau est destinée à être connectée par un tuyau à un dispositif approprié (113') associé à l'alambic, adapté à fournir de l'eau distillée sous légère surpression ;

20 - la prise de vapeur est destinée à être connectée par un tuyau calorifugé à l'extrémité libre du tube de chauffe (422) à jets de vapeur, constituant ladite source chaude.

36. Alambic à diffusion de vapeur et gaz caloporteur selon la revendication 27, caractérisé en ce qu'il comporte une hélice de ventilateur (92), installée dans l'espace collecteur haut (443) juste en amont des entrées des espaces inter-plaques (457-1-6) et/ou un tube de chauffe à jets de vapeur (422), installé dans la cheminée basse (426) en amont des entrées des plaques creuses de distillation, pour constituer un propulseur et une source chaude, seul ou en coopération avec cette hélice et/ou avec une autre source chaude de nature différente.

30 37. Réfrigérateur naturel pour abaisser au mieux la température du liquide à distiller entrant dans un alambic selon l'une des revendications 21, 27 ou 28, caractérisé en ce qu'il comprend :

- des plaques creuses auxiliaires minces (140) pourvues, d'une part, de parois extérieures dotées de revêtements hydrophiles et, d'autre part, de moyens de connexion (172-180) amont et aval appropriés;

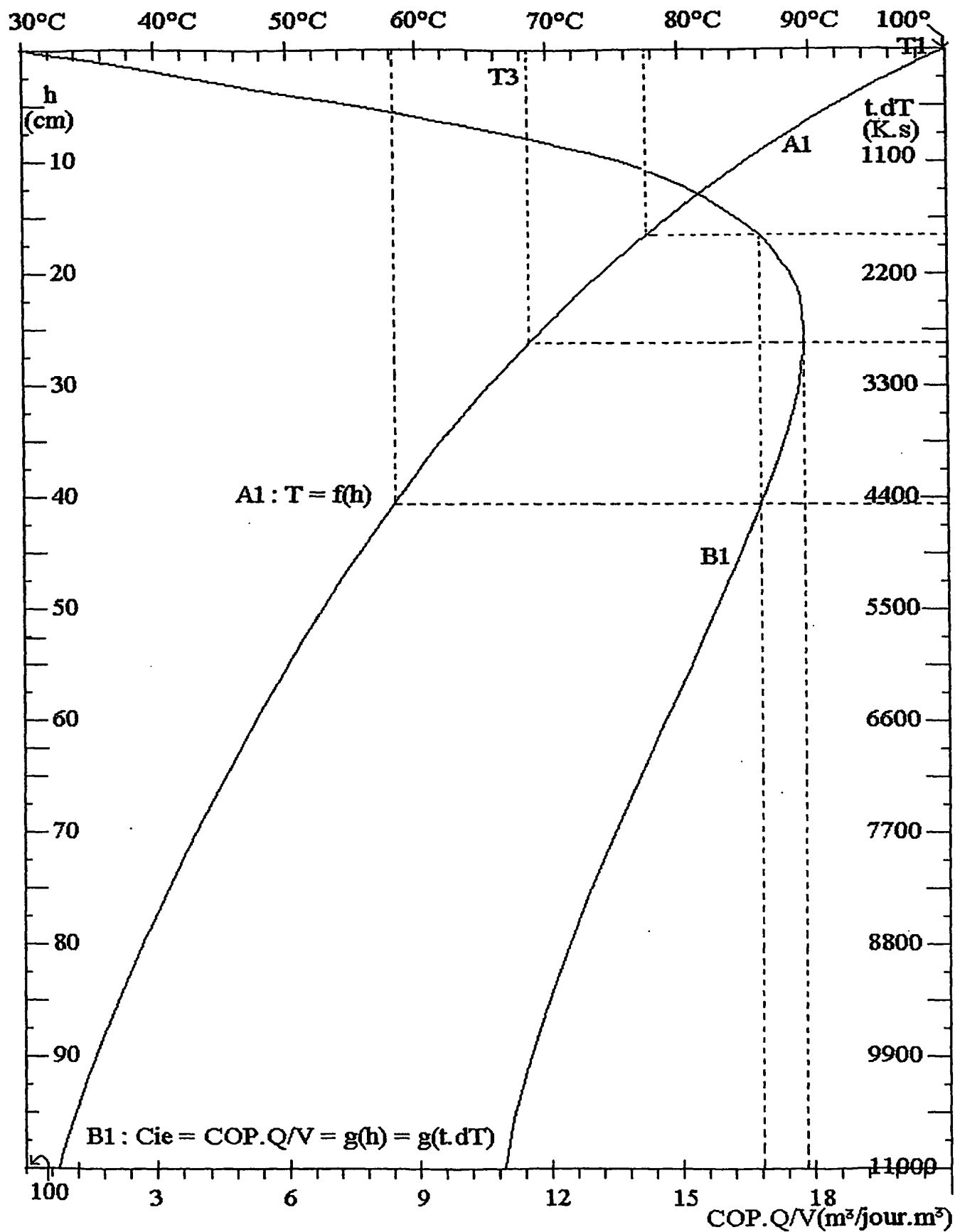
- des espaces inter-plaques relativement importants ;

35 - des tuyaux pour relier un réservoir (76) de liquide à distiller à des moyens (226-228) pour répandre ce liquide sur ces revêtements;

- des tuyaux pour respectivement relier lesdits moyens amont et aval de connexion au réservoir (76) et au conduit d'entrée (77' ou 440) de l'échangeur thermique de refroidissement (84' ou 438), associé au bloc de distillation de l'alambic ou à celui du distributeur de liquide à distiller (444) de son bloc de récupération

40 thermique.

FIGURE 1



2/13

FIGURE 2

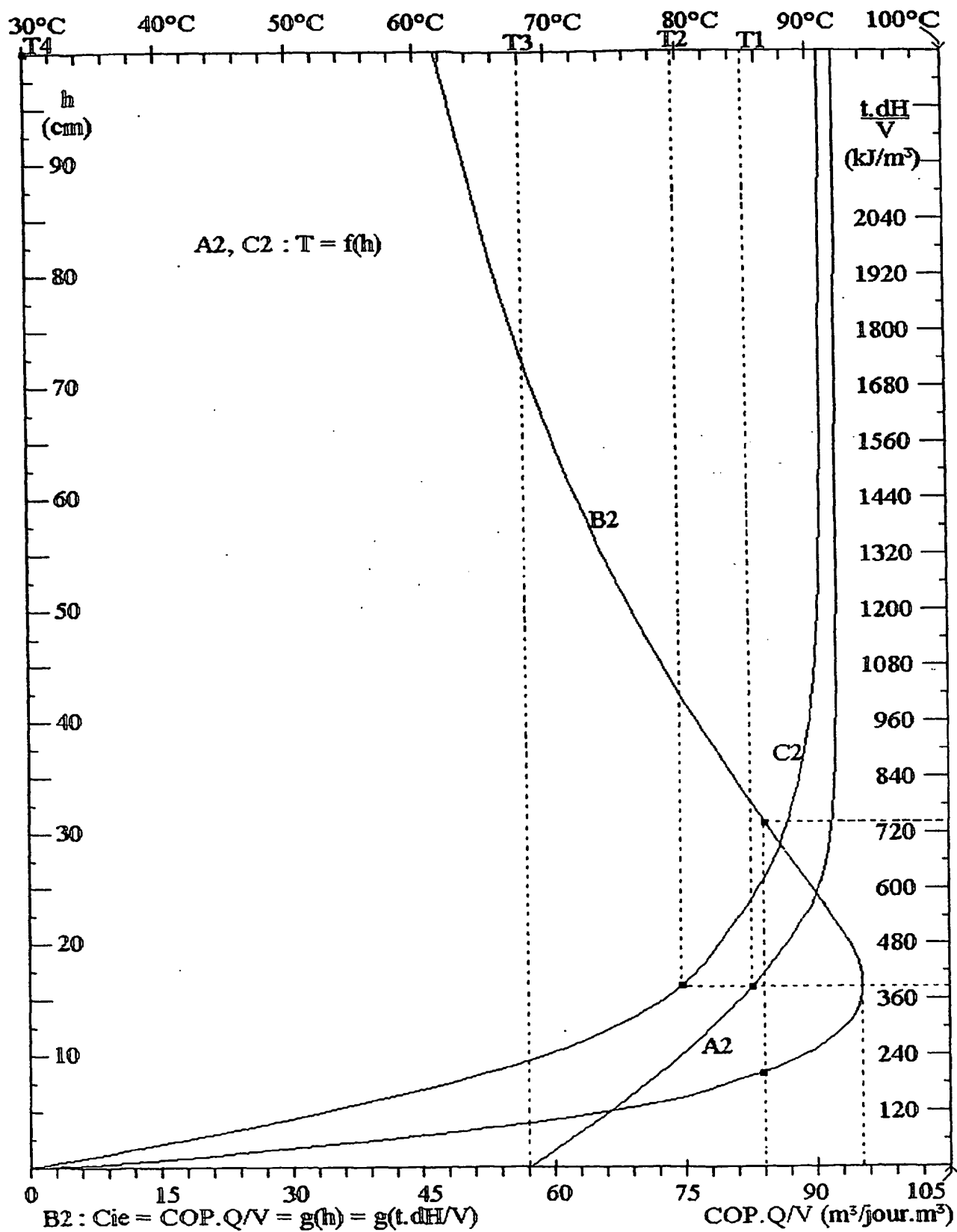


FIGURE 3

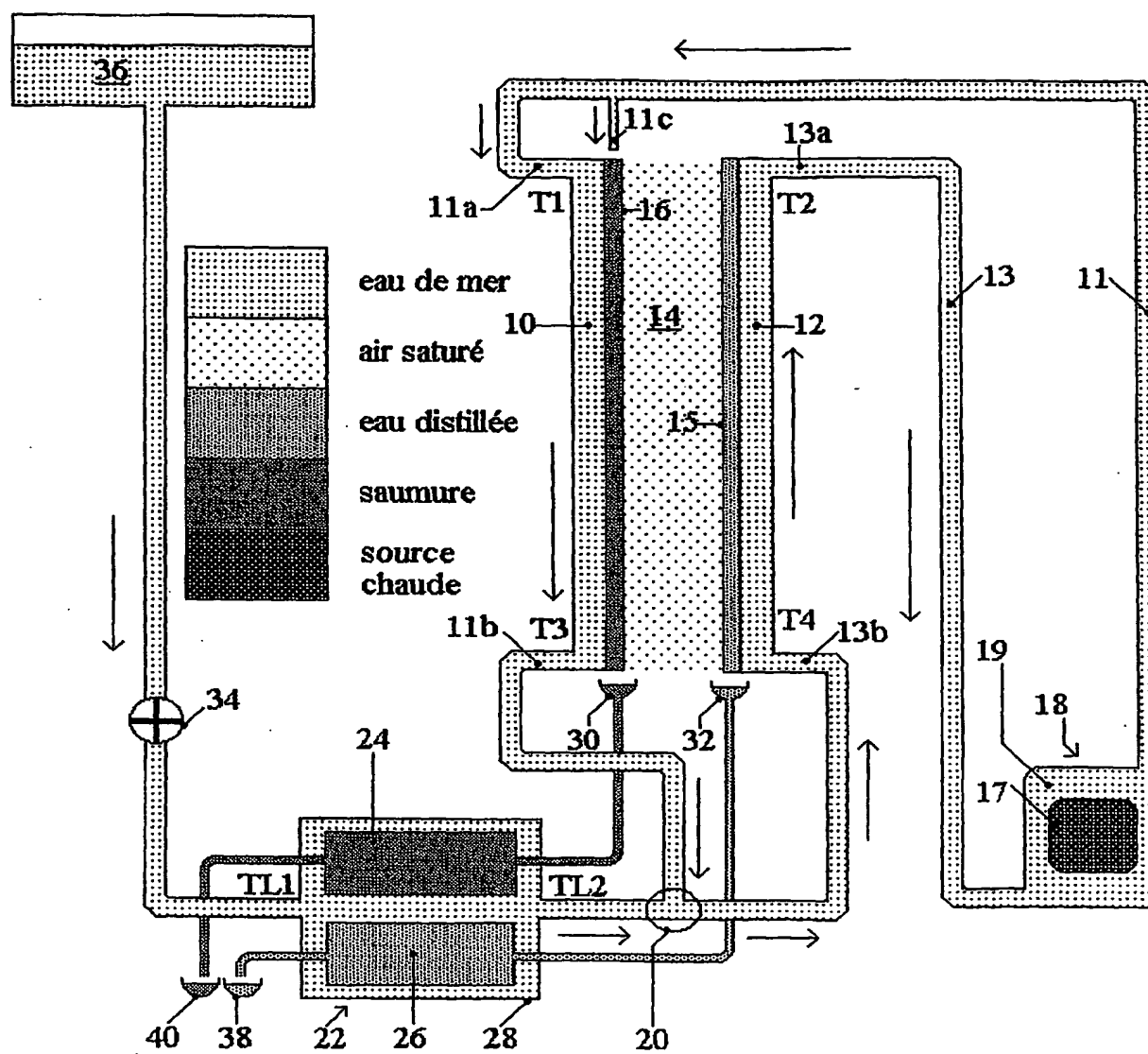
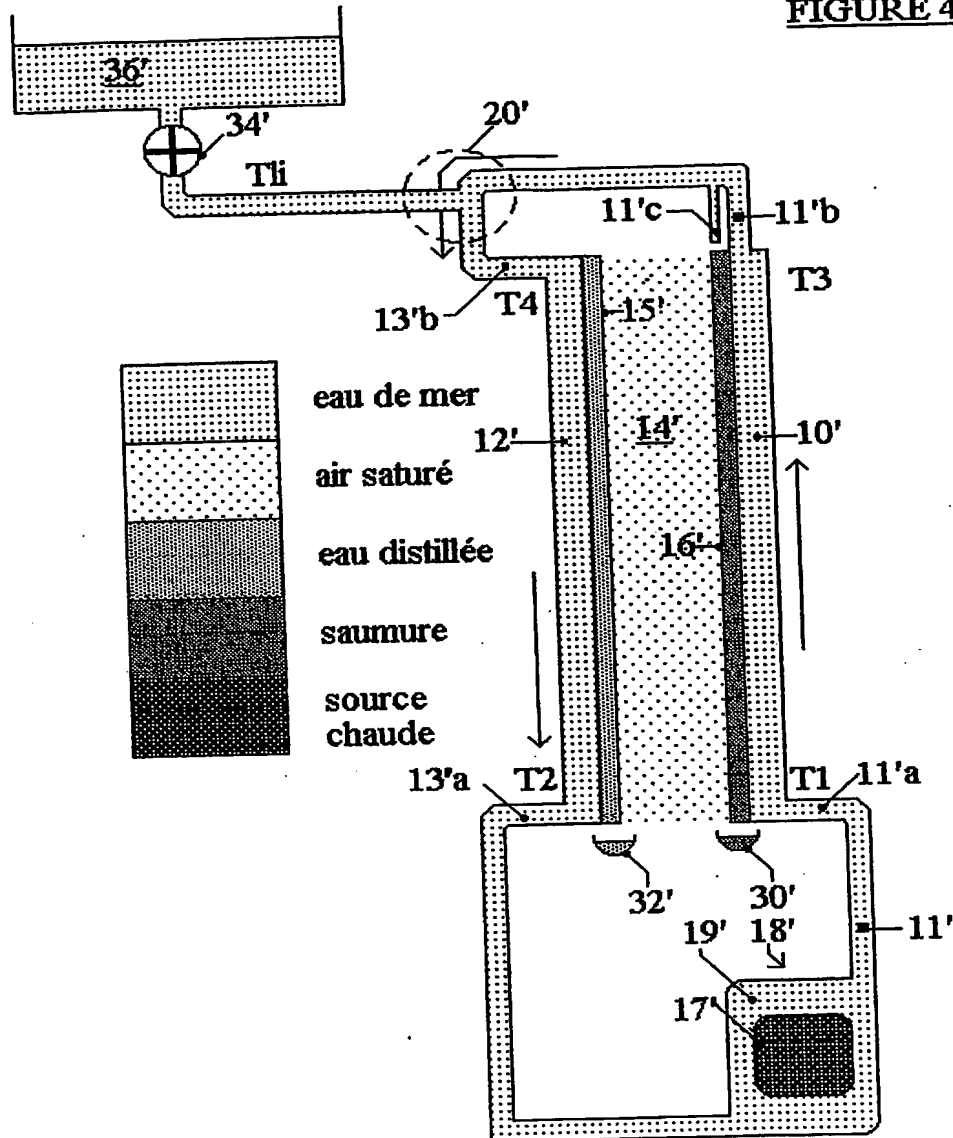
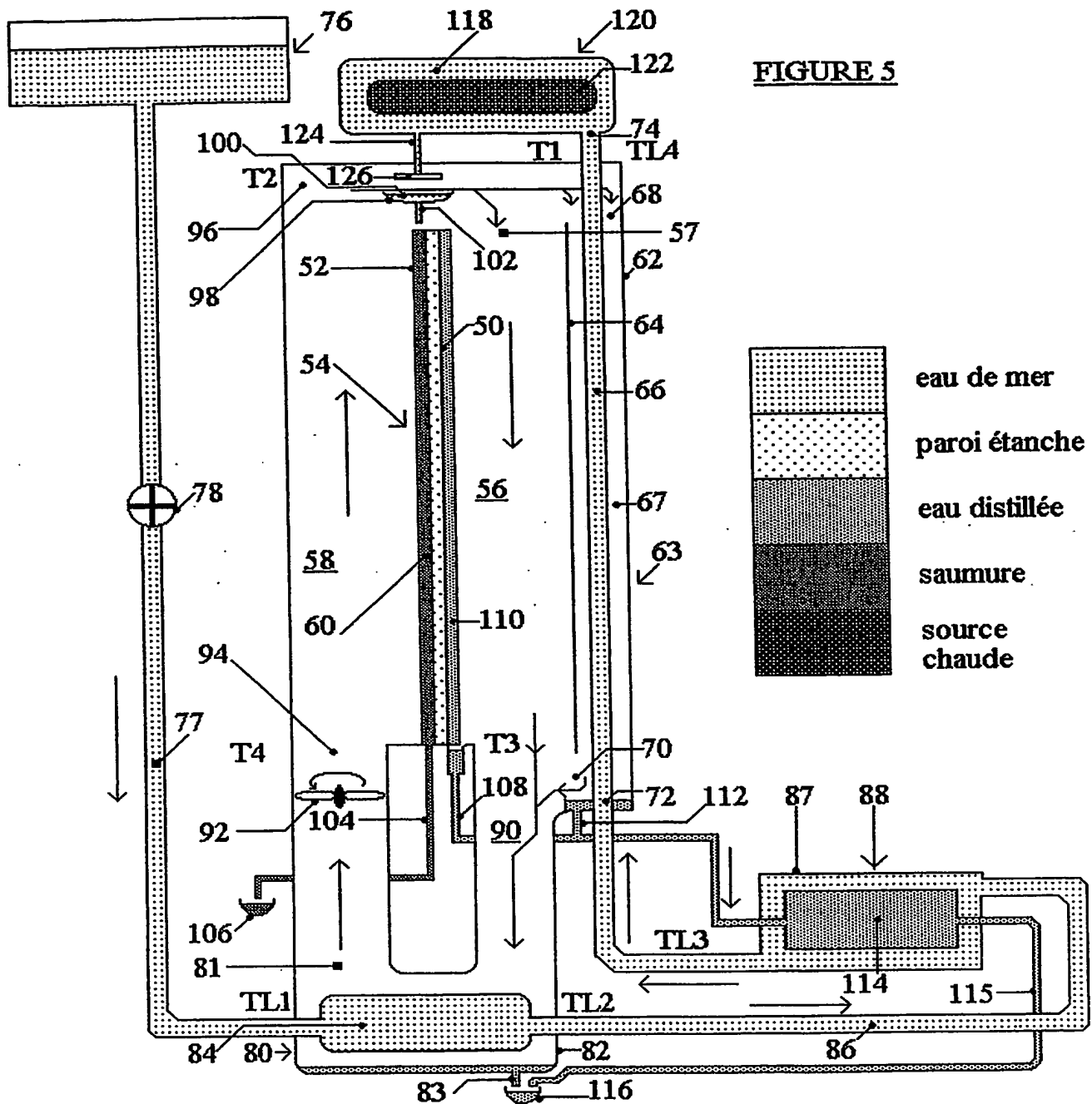


FIGURE 4



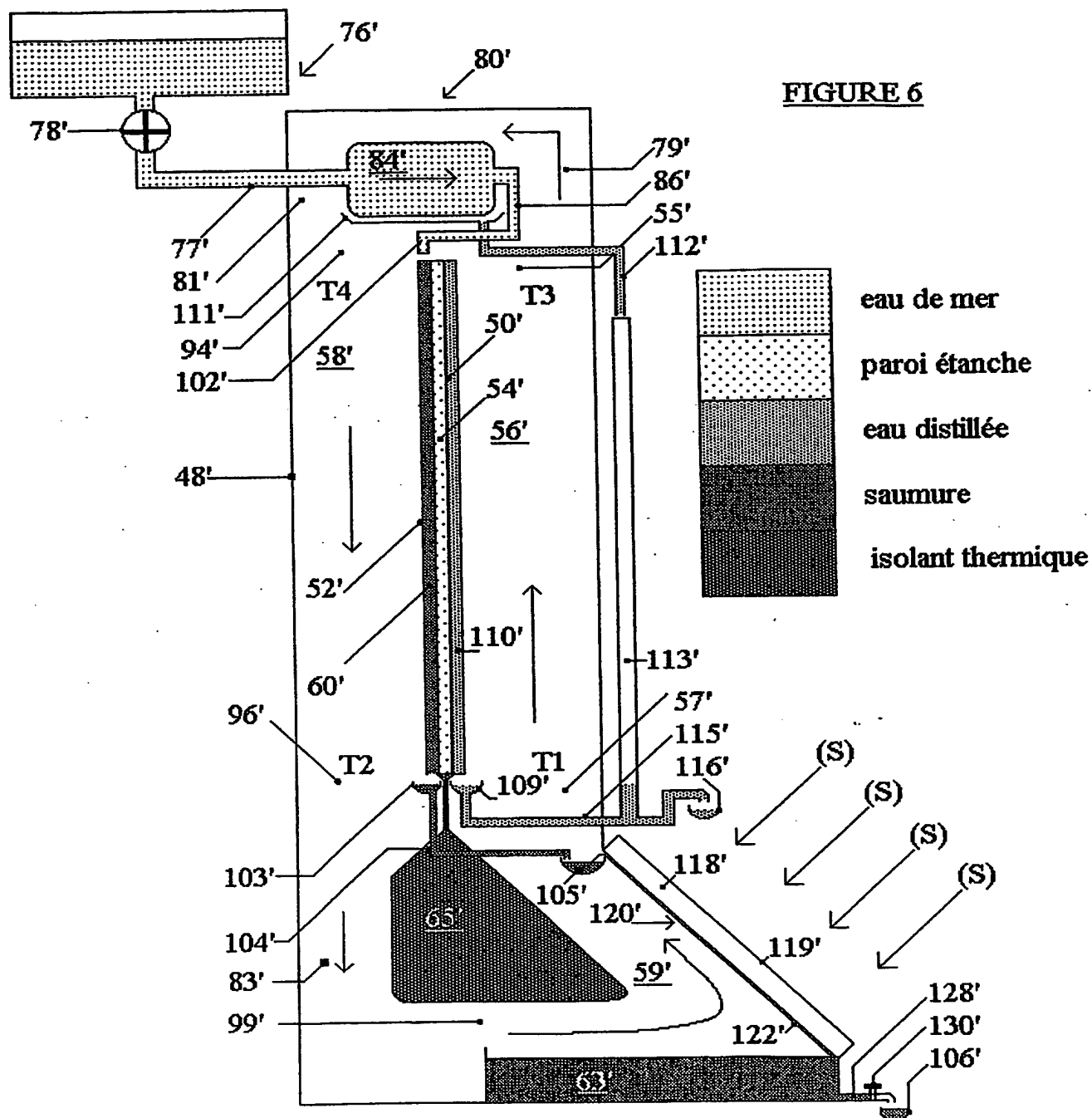
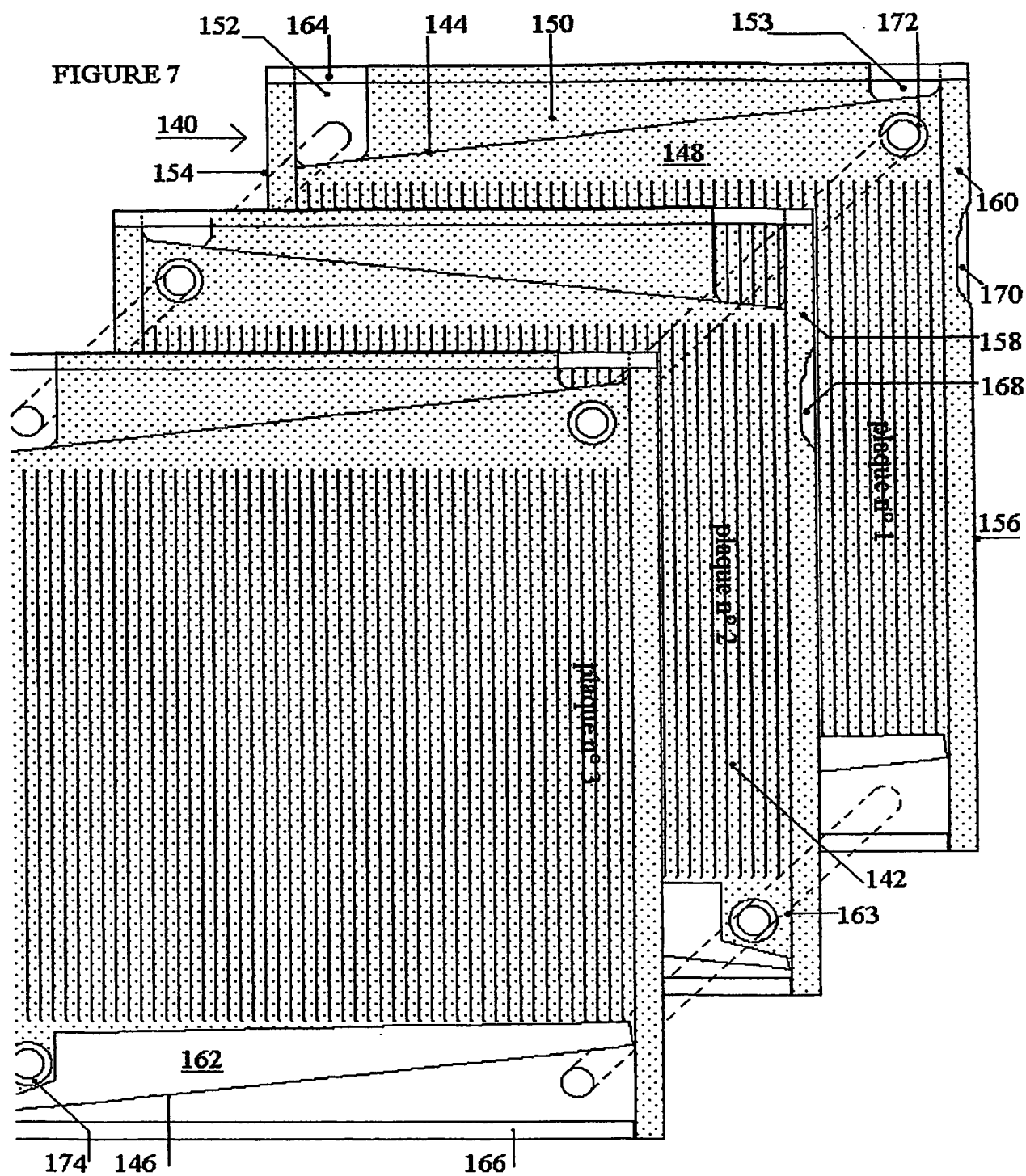
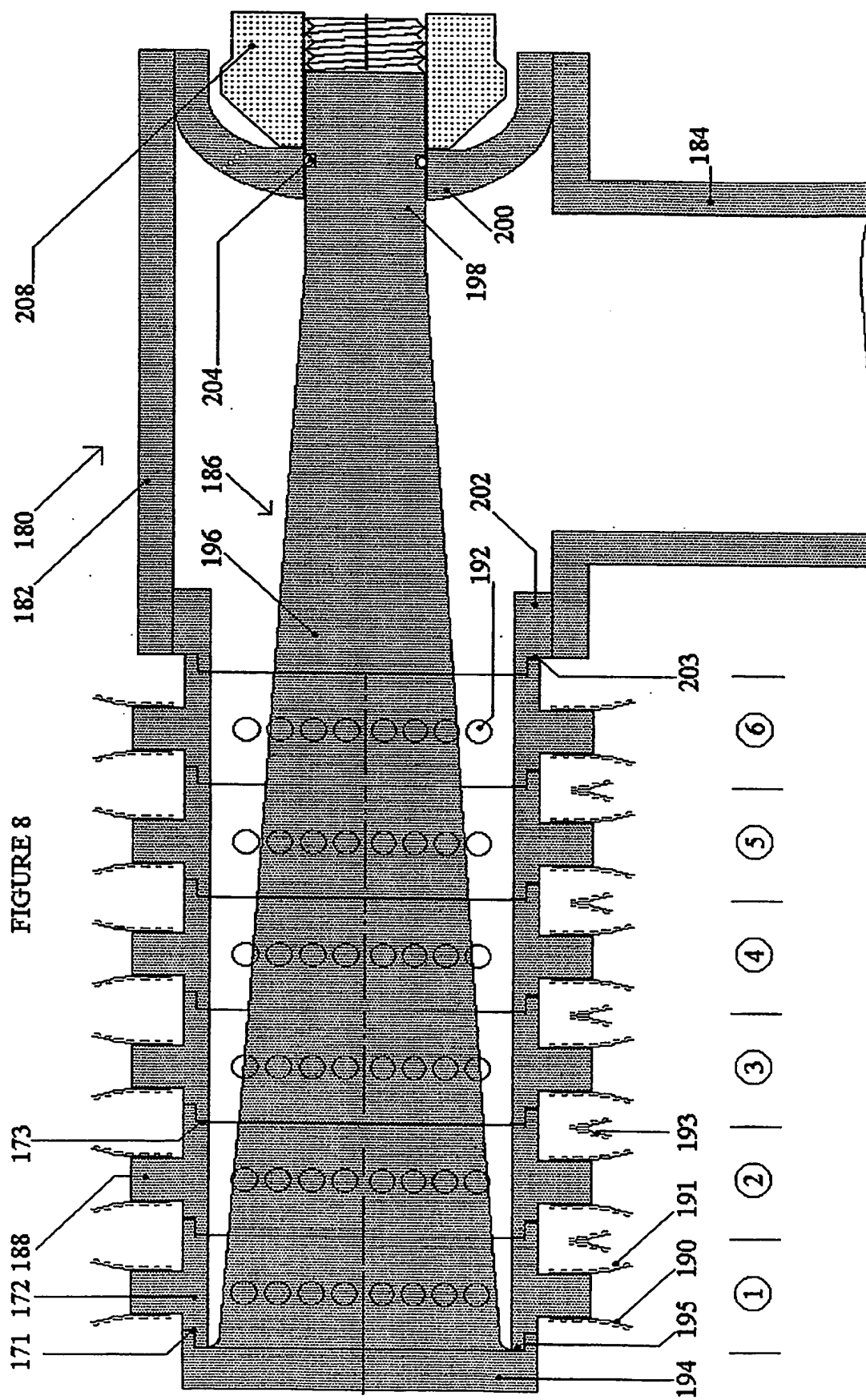


FIGURE 7





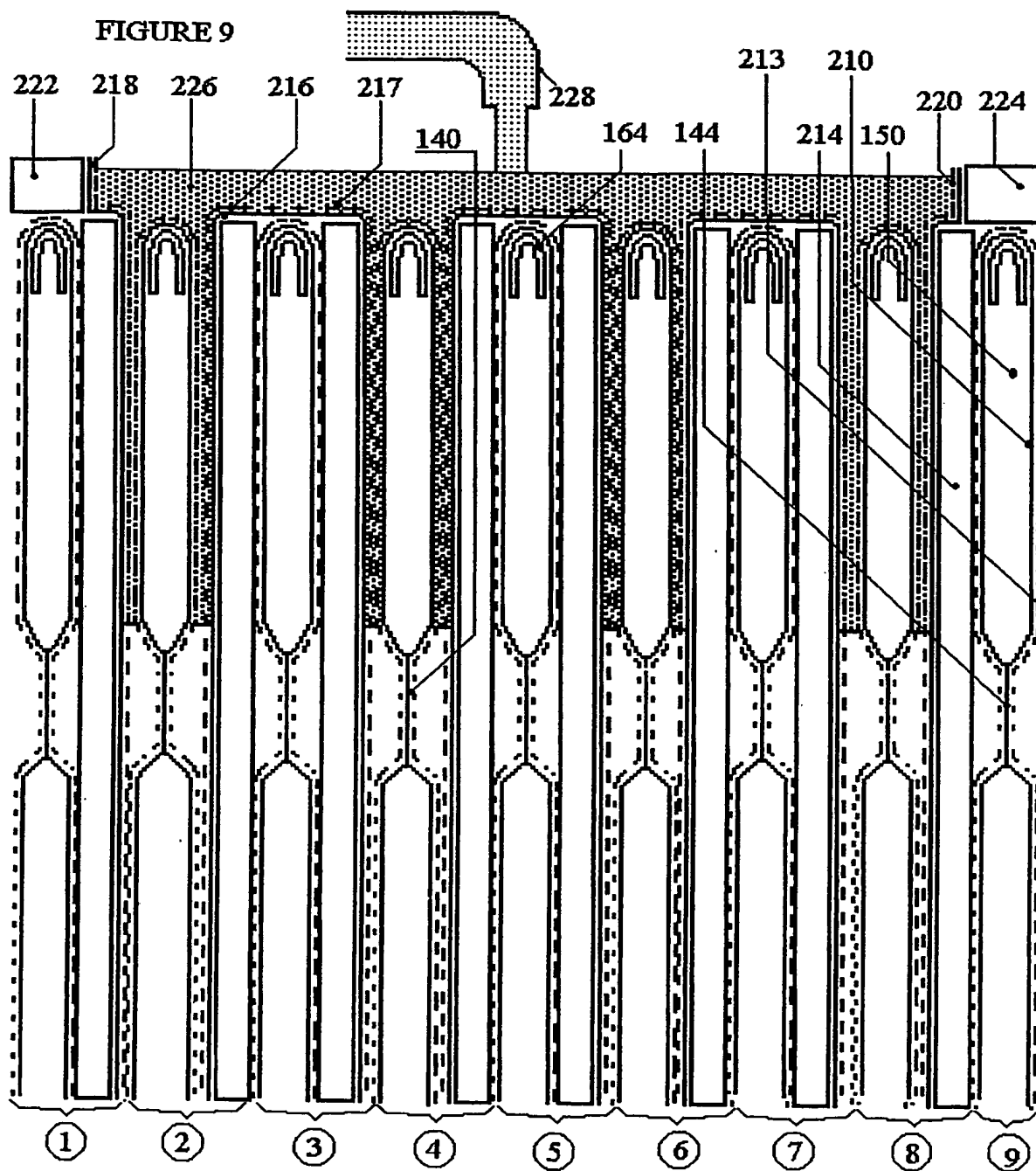
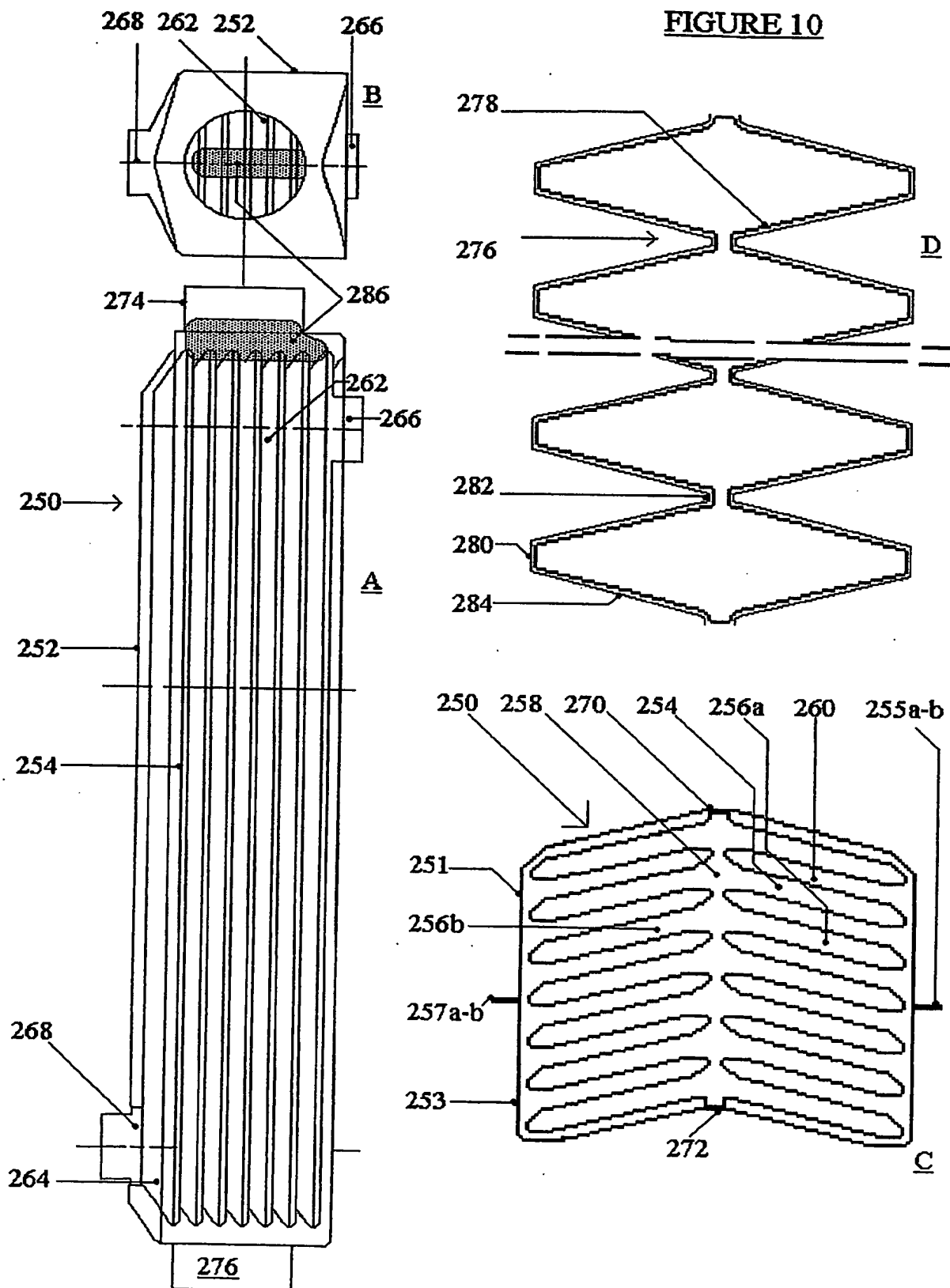
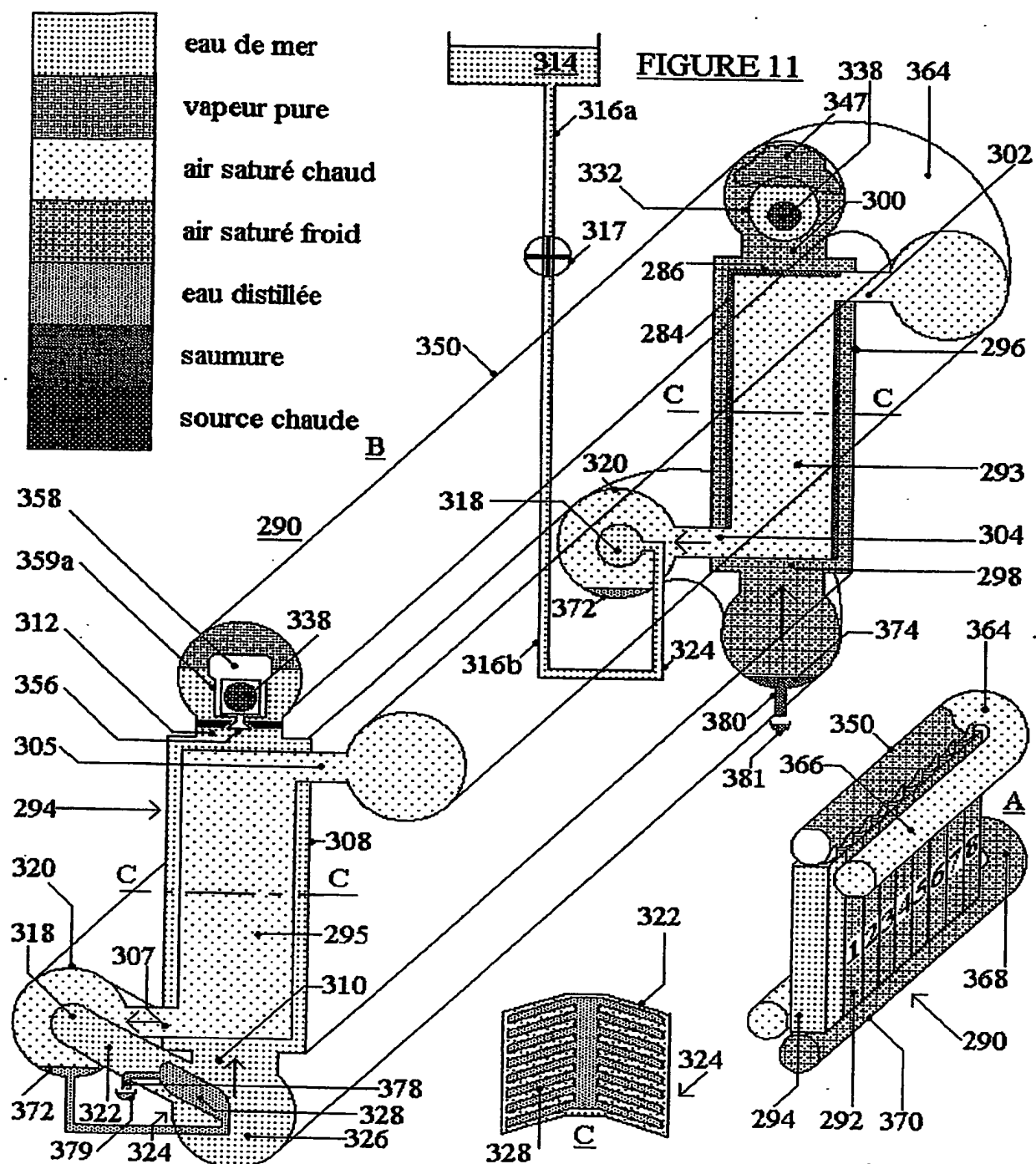


FIGURE 10





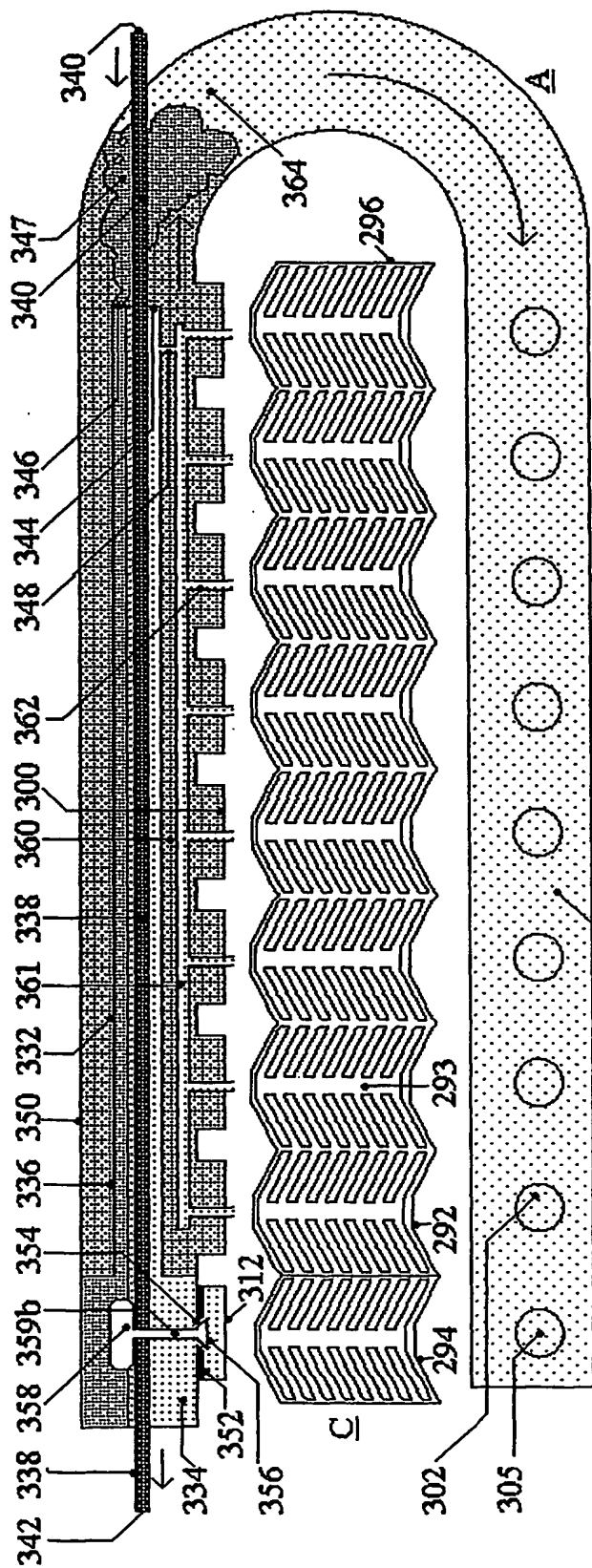


FIGURE 12

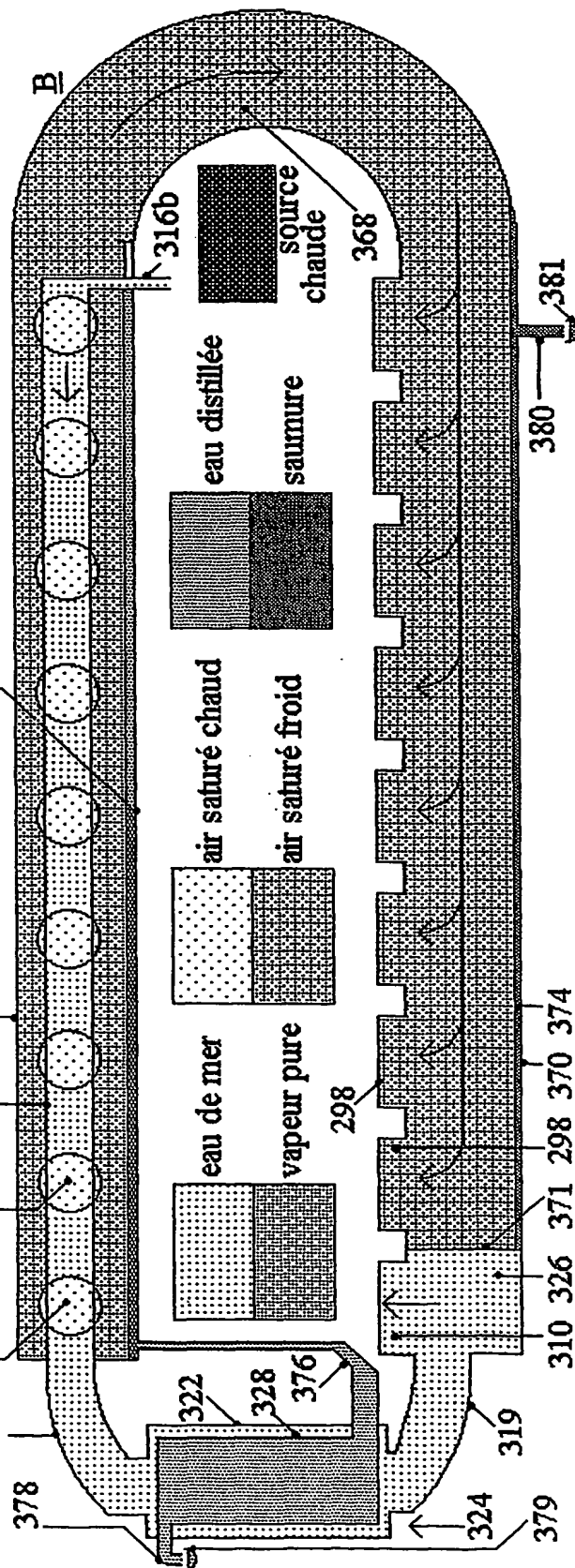


FIGURE 13